

المجلد 21 - العدد 12
ديسمبر (كانون الأول) 2005

SCIENTIFIC
AMERICAN

December 2005

مجلة
العلوم

الترجمة العربية لـ مجلة ساينتفك أمريكان
تحت إشراف في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

هل كانت الأرض باردة في بداية تكونها؟

العدد 212 - السعرة 1500 دينار كويتي



تقرير خاص

مستقبل الخلايا الجذعية



الغاز الكتل



أوجه المبرخ المتعددة

كشاف مقالات العلوم
2005 - 1986

«مجلة العلوم» تصدر شهرياً في الكويت منذ عام 1986 عن «مؤسسة الكويت للتقدم العلمي» وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطوير العلمي والتكنولوجي في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والأهتصاصية والثقافية. «مجلة العلوم» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ «ساينس فيكتوريان» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1985 إلى تمكين القارئ، غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقنية وتوافير معرفة شمولية للقارئ، المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «ساينس فيكتوريان» بلساني عشرة لغة عالية. وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم المثيرة والجدال.

ترجمة في مراجعة

المقالات

أوجه المريخ المتعددة

<R. P. R. كريستين>

خضر الأحمد - محمد سليمان



4

على سطح المريخ، وجدت مركبة جواله صحراء قديمة، ووجدت مركبة أخرى عالما كان مانيا في وقت ما. إن التنوع على سطح المريخ يضاهي مثيله على سطح الأرض.

الغاز الكتلة

<G. كين>

بسام المعصرائي - أحمد باشا



12

يجد الفيزيائيون في البحث عن جسيم مراوغ يمكنه أن يكشف عن وجود نوع جديد من الحقول (حقل ميكز) ينتشر في الوجود المادي كله. فوجود هذا الحقل سيوفر فهماً أكمل عن الكيفية التي يعمل بها الكون.

هل كانت الأرض باردة في بداية تكونها؟

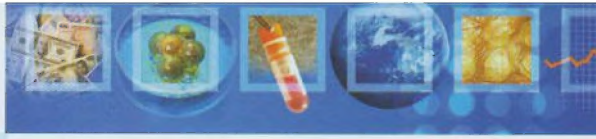
<W. كالي>

جان خوري - عبد القادر عابد



20

ربما لم يتشبع كوكبنا بالصهارة على مدى نصف البليون سنة الأولى منذ نشأته. فتشكل المحيطات وطلانق القارات ويزوغ الحياة قد يكون أبكر كثيراً مما نعتقد.



عدنان الحموي
هاني رزق
برهان العابد
عمر الملوك

28 تقرير خاص

مستقبل الخلايا الجذعية

تعدّ الخلايا الجذعية بمعالجات خيالية، ولكنها تطرح أيضا أسئلة عويصة. ويمثل هذا التقرير دليلا أساسيا للقضايا المحورية العلمية منها والتجارية والسياسية.

29 رسالة من المحررين

30 «أم الخلايا» كافة

يأمل العلماء تحقيق قوائد ضخمة من سيل الأبحاث على الخلايا الجذعية الجنينية. ولكن قد ينقضي جيل بكامله قبل أن تصبح الفائدة ملموسة. <C> كوكسون

32 الخيمرات البشرية - الحيوانات

<A> ويني

34 ملوثة ومائنة، ولكن مصادق عليها أمريكيا؟

<CH> سورز

35 القرينة الاستنساخية

<C> كوكسون

36 عمال التصليح من داخل الجسم

قد تنجو الخلايا البالغة من الجدل الأخلاقي الذي يدور حول الخلايا الجذعية الجنينية، بيد أن أهميتها السريرية العملية مازالت شديدة الغموض. <CH> سورز

38 ايها المريض، اشق نفسك

39 إنتاج خلايا جذعية عند الطلب

40 خليط من القوانين

يندر الإجماع في الرأي بين مختلف البلدان حول نوع الممارسة التي يجب أن يسمح بها فيما يتعلق بالمعالجة القائمة على الخلايا الجذعية. وهذا على الرغم من المحاولات العديدة للوصول إلى اتفاق في هذا الشأن.

41 موقع المواجهة القادمة: قاعة المحكمة

<P> والدماير

42 الهندسة إلى جانب الأخلاق

<G> ستكس

44 عدد كبير من مقاربات الخلايا الجذعية

<S> بيريسلي

46 الخلايا الجذعية شرقا ... وغربا

أوجدت الصين والمملكة المتحدة طروفا تنظيمية وأخلاقية وإعادة عموما، مقترنة بأسس بحثية متينة. <C> كوكسون

48 مناورة كاليفورنيا

أطلقت ولاية كاليفورنيا رهانا قيمته ثلاثة بلايين دولار على علوم الخلايا الجذعية، لكن بعض البيولوجيين قلقون من أن هذه المبادرة قد تشتت الجهود. <W, W> كيبس

50 العلميون يتبعون المال

51 شبح «لاسينكو»

تحذير من تكاليف القيود اللاعقلانية. <A> ويسمان

52 تزايد معاناة صناعة جديدة

تتابع شركات الخلايا الجذعية الناشئة القيام بأكثر الأبحاث تقدما مع قلقها الدائم حول التمويل، الذي يحافظ على بقاياها.

52 الشركة ES Cell International

شركة طموحة في سنغافورا تحقق «موجودية مميزة». <A> بورتن

52 الشركة Geron

كانت هذه الشركة مرموقة في مجال براءات الاختراع، ولكنها تهتم حاليا بإنتاج معالجات جديدة. <V> كريفيث

53 الشركة Stem Cell Sciences

خلال عقد من الزمن صارت هذه الشركة على المستوى العالمي الأقوى في مجال الخلايا الجذعية، بعد أن كانت مجرد «شركة افتراضية». <C> كوكسون

54 الشركة Advanced Cell Technology Holdings

تستمر هذه الشركة في تسجيل حضور يفوق وزنها، بعد أن استتارت معركة سياسية حول الاستنساخ العلاجي البشري. <V> كريفيث

55 خلية عصية على المستثمرين

إن المضاربين VCs حذرون من أن يستثمروا في شركات قد لا تضمن مخاطر العلم فيها موردا مجزيا باستمرار. <N> موران

57 البحث عن خلايا شافية

يدعو مستنسخ النعجة «دولي» المجتمع إلى تجاوز الجدل حول اشتقاق خلايا جذعية من الأجنة البشرية تحقيقا للفائدة المتوقعة من ذلك. <A> ويليموت

أوجه المريخ المتعددة^(*)

على سطح المريخ، رصدت مركبة جواله صحراء قديمة العهد،
ورصدت مركبة أخرى عالما كان مائيا. إن التنوع على
الكوكب الأحمر يضاهي التنوع على الكرة الأرضية.

«R. Ph. كريستينسن»

الفصل للمريخ أمرا مستحيلا، وعلى مدى عمري الذي عشته، تحوّل الكوكب الأحمر من نقطة في السماء الليلية إلى أرض تضم براكين شاهقة، وقيعان أنهار جافة، وبحيرات قديمة، وسهولا حممية تذروها الرياح، من الواضح أن للمريخ واحدا من أروع تواريف النظام الشمسي. ومع ذلك لم يستطع العلماء عمل أكثر من تجميع مسودة لتخوم هذا التاريخ. وعلى مدى سنوات، دار بيننا جدال حول مسائل معقدة: هل كان المريخ في وقت ما «دافئا ورطباً» وشبهياً بأرضنا، أم كان «باردا وجافا» وقاحلا مثل القمر؟ كما لو كانت قصة عالم كامل يمكن اختصارها إلى عبارة موجزة.

ومع ذلك، فقد دخلنا خلال العقد الماضي الحقبة الثالثة العظمى لاستكشاف المريخ، وهي التي أعقبت حقبتين تميّزتا بأرصاء القرن التاسع عشر المقاربة، واستعمال السفن الفضائية الأولى لريادة الفضاء في ستينات وسبعينات القرن الماضي. وقد رسمت بعثات السفن المدارية والجواله الحديثة التي أرسلت إلى الكوكب، طوبوغرافيته، وحددت معادنه، وصوّرت سطحه بتفصيل كاف لتفسير عملياته الجيولوجية، ثم مزجت البيانات المدارية بحقائق الأرصاد الأرضية. وأخيرا أصبح المريخ مكانا يمكنني سرد قصته من خلال دراستي الجيولوجية لصخوره ومعادنه وأشكال الأرض فيه.

إن ما اكتشفناه هو أن المريخ تعرّض عبر تاريخه لعمليات وفروفي بالغة التنوع. وقد احتضن المريخ، الذي نحن بصدد تعرّفه، بيئات مختلفة: من جفاف كامل، إلى رطوبة شديدة، إلى التحاف بدثار من ثلج وجليد. ولم تعد التعبيرات البسيطة مناسبة. وبدلا من أن نسال: «دافئ» أم «بارد»، نسال: كم هو دافئ؟ كم هو رطب؟ وعلى مدى كم من الزمن؟ وأين؟ وتركز الإجابات الشافية عن هذه الاسئلة، على ما يجذب كثيرا منا لدراسة الكوكب الأحمر، وبخاصة احتمال وجود حياة عليه، الآن أو فيما مضى.

(*) العنوان الأصلي: THE MANY FACES OF MARS

Overview: Marian Oddities (++)

silty mudstones (1)

solidified lava (1)

quartzite (3) صخر متحول حبيبي يتكون من الكوارتز.

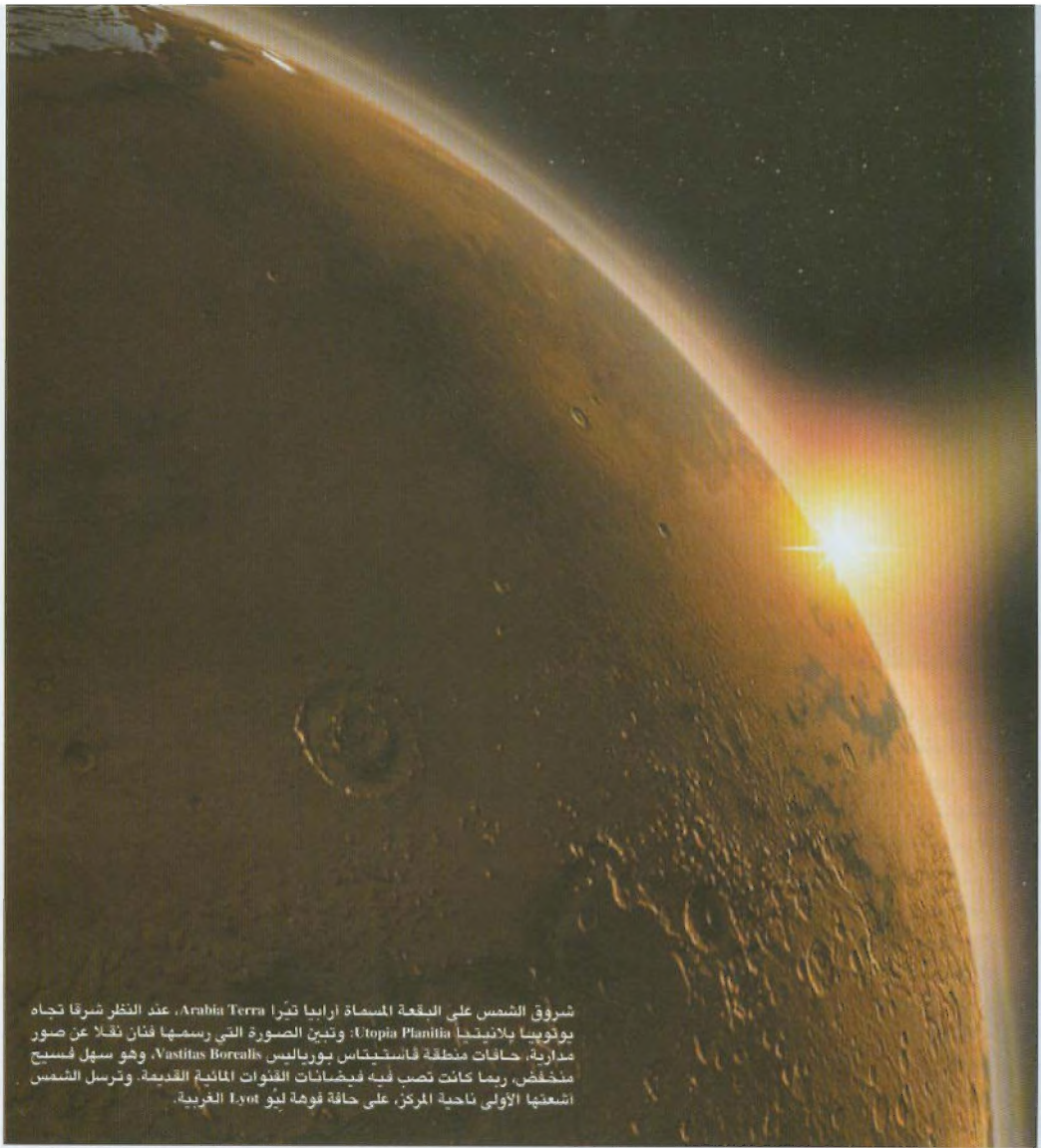
(4) نمط سطحي على المواد الرسوبية غير التماسكة، خصوصا الرمل السائب، يتألف من حبيد وحزوز متناوبة تنشأ عن تأثير الرياح أو الماء. (التحريز)

يتوجه كثير من الناس إلى الصحارى لِبساطتها وخلائها، لكنني أذهب إليها لتعقيدها. فصخور غرب الأريزونا، حيث أعمل، تكشف عن أكثر التواريف تعقيدا على الأرض. وتبين طبقات الأحجار الجيرية الكربوناتية، والأحجار الطينية السلتية⁽¹⁾، ورمل الكوارتز، والحمم البركانية (اللابة) المتصلبة⁽²⁾، أنه على مدى الستمئة مليون سنة الماضية، كانت هذه المنطقة بحرا دافئا ضحلا، ثم صارت مستنقعا موحلا، ثم صحراء مترامية الأطراف ذات كثبان رملية براقّة، ثم صفحية جليدية شديدة البرودة، ثم أصبحت بحرا ضحلا مرة أخرى. وقد كوّنَت البراكين الثائرة جزرا مثل اليابان، التي دُفِعَت بدورها 100 ميل إلى اليابسة على طول صدوع ضخمة، وهذا أدى إلى إمالة طبقات الصخور على حافتها صاهرا لها، ليتولّد الرخام والكوارتزيت⁽³⁾. وفي النهاية أنتج تنوّ القشرة الأرضية وعوامل الحث erosion، هذه الصحراء الشاسعة التي نراها اليوم.

ولدة طويلة، اعتبر هذا النمط من إعادة التكوين التاريخي

نظرة إجمالية/ غرائب مريخية⁽⁴⁾

- ظلت المركبتان سبيريت وأپورتونيوتي تجولان في أرجاء المريخ طوال سنة ونصف، في حين رسمت ثلاث سفن مدارية طوبوغرافية الكوكب وحددت مكوناته المعدنية بدقة لم تكن متيسرة حينذاك إلا للقياسات الأرضية.
- قبل هاتين البعثتين، كانت الأدلة الأساسية على وجود سابق للماء على المريخ تستند إلى أشكال تضاريسه (أشكال الأرض فيه). ومع أن هذه التضاريس موحية، لكنها غامضة، أما الآن، فالأدلة الأساسية تعدينية (وجود أكاسيد الحديد وإصلاح الكبريتات)، ونسجية textural (وجود كريات، وعلامات الّلم ripples) في صخر الأساس، مما لا يدع مجالا للشك في أن موقع هبوط أپورتونيوتي قاع بحيرة قديمة.
- ومع ذلك، فإن التاريخ الجيولوجي للكوكب شهد تغيرات هائلة، ومن الغريب أن تكون هذه التغيرات متعلقة بالمكان والزمان. فننادرا ما شهد معظم الكوكب قطرة ماء؛ وحتى المواقع التي هبطت فيه المركبة أپورتونيوتي، مر بفترات جفاف طويلة الأمد. وثمة معالم جيولوجية أخرى مثل البراكين، تختلف أيضا فيما بينها اختلافات غير متوقعة.



شروق الشمس على البقعة المسماة أرابيا تيرا Arabia Terra، عند النظر شرقاً تجاه يوتوبيا بلانيتيا Utopia Planitia، وتبين الصورة التي رسمها فنان نقلا عن صور مدارية، خفافات منطقة فاستيتاس بوريليس Vastitas Borealis، وهو سهل فسيح منخفض، ربما كانت تصب فيه فيضانات القنوات المائية القديمة. وترسل الشمس اشعتها الأولى ناحية المركز، على حافة فوهة ليو Lio الغربية.

في بداية الأمر، بدا هذا الموقع مخيباً للآمال إلى حد ما، إذ لم تعثر المركبة سبيريت على علامات على وجود ماء في الماضي، وكان ما رآته صخوراً بركانية، بينت مقاييس الطيف في المركبة سبيريت أنها مكونة من الزبرجد الزيتوني olivine، والبيروكسين pyroxene، وهما معدنان يمكن أن يتحلا بفعل أقل قدر من الماء السائل. ولا يمكن أن تكون الصخور قد تعرضت في الثلاثة بلايين سنة أو نحوها التي أعقبت ثورات البراكين، لقدّر ذئ بال من المياه. وفيما كانت الجوالّة سبيريت تتسلق تلال كولومبيا^(٢)، التي تشرف على موقع الهبوط، صار الوضع أكثر إثارة للاهتمام، حيث اكتشفت

Columbia Hills (٢)

Ma'adim (١)

Two Places, Two Views (٣)

مكانان ومنظران^(٣)

في الشهر 2004/1، أنزلت وكالة ناسا، في موقعين مختلفين جدا على المريخ، اثنتين من أعقد الآلات التي صنعت حتى الآن، هما المركبتان الجوالّتان سبيريت Spirit وأوبورتونيتي Opportunity، اللتان حملتا على متنيهما مجموعة من الكاميرات والمقاييس الطيفية لدراسة تركيب التربة والصخور، بقصد الإجابة عن السؤال الرئيسي المتعلق بجيولوجية المريخ: ماذا كان دور الماء؟. أما المركبة سبيريت، فقد هبطت في فوهة كوزيف Gusev Crater، التي اختيرت لشكل تضاريسها، إذ بينت الصور المدارية التي أخذت للفوهة أن ثمة وادياً، هو ماديم^(١)، يفضي إلى الفوهة، كما لو كانت فوهة كوزيف بحيرة يوماً ما.

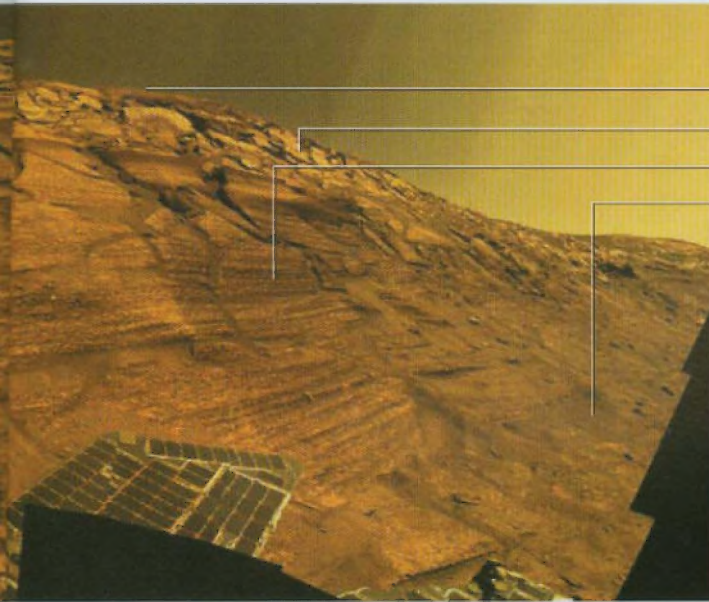
تحول
إكين
روها
نظام
سودة
سائل
أ. أم
عالم

الثلة
يزرتا
سائية
وقد
إلى
ميل
أرية
كفني
أدنه

يات
فقه
صاف
من

لب؟
هذه
صة

solid
انب،
ريز



رسوبيات مائية غنية بالكبريتات

رمل ذو بنية رقائقية ناعمة رسيته الرياح

رمل ذو بنية رقائقية خشنة رسيته الرياح

رمل سائب

جُرْف بيرنز، هو منكشف صخري رائع، تفحصته المركبة أپورتيونيتي بإمعان. يبلغ ارتفاعه ارتفاع مبنى من ثلاثة طوابق. وبشكل جزئي من حافة فوهة إندورانس (Endurance)، التي تبعد مسافة 700 متر تقريباً عن موقع هبوط الجوال، وتشبه الصخور العلوية لهذا الجرف، الصخور الموجودة في موقع الهبوط وهي غنية بإصلاح الكبريتات (اللون الأحمر والأصفر في الصورة الملونة اصطناعياً)، وربما جرى تكوينها ثم جفافها خلال الفيضانات المتكررة في تلك المنطقة. ويرى تحتها طبقات ناعمة وخشنة - وهي مزيج (اللون الأخضر) من الهيماتيت المعدني المرتبط بالماء ومن المعادن البازلتية الكارفة للماء. ويبدو أنها كتبان رملية كانت جافة عموماً، ولكنها كانت قريبة من حوض مائي. ويغطي قاع الفوهة رمل بازلتى (اللون الأزرق).

الصحراوية. وقد بدت صخور الميريدياني الغنية بالهيماتيت في طبقات رقيقة سهلة التآكل، استقرت فوق السطح الأقدم الغني بالفوهات البركانية، مما يوحي بأنها تراكمات رسوبية. وقد ملأت قنوات قديمة ومناطق أخرى ذات طوبوغرافية منخفضة، مما يشير إلى أن هذه الصخور ترسبت في الماء، ولم تكن رماداً بركانياً أو غباراً تنزوه الرياح.

بعد أيام من هبوطها، أكدت المركبة أپورتيونيتي، أن سهول ميريدياني كانت ذات يوم مغمورة بالمياه. وقد اكتشفت فوراً منكشفات صخرية outcrops تضم صخوراً رسوبية طباقية layered، شوهدت لأول مرة على المريخ. كانت هذه الصخور ممثلة بالكبريتات - 30 إلى 40 في المئة من وزنها - ولا يُفسر هذا إلا بتبخر الماء الغني بالكبريت. هذا ولم تكن الكبريتات في فوهة كوزيف كثيفة. واتخذ الهيماتيت شكل كرات (أطلق عليها اسم «العُنيَّات» blueberries)، تراوح أقطارها بين مليمتر واحد وخمسة مليمترات، وكانت مطمورة في طبقات الصخور، ومبعثرة على الأرض كلها.

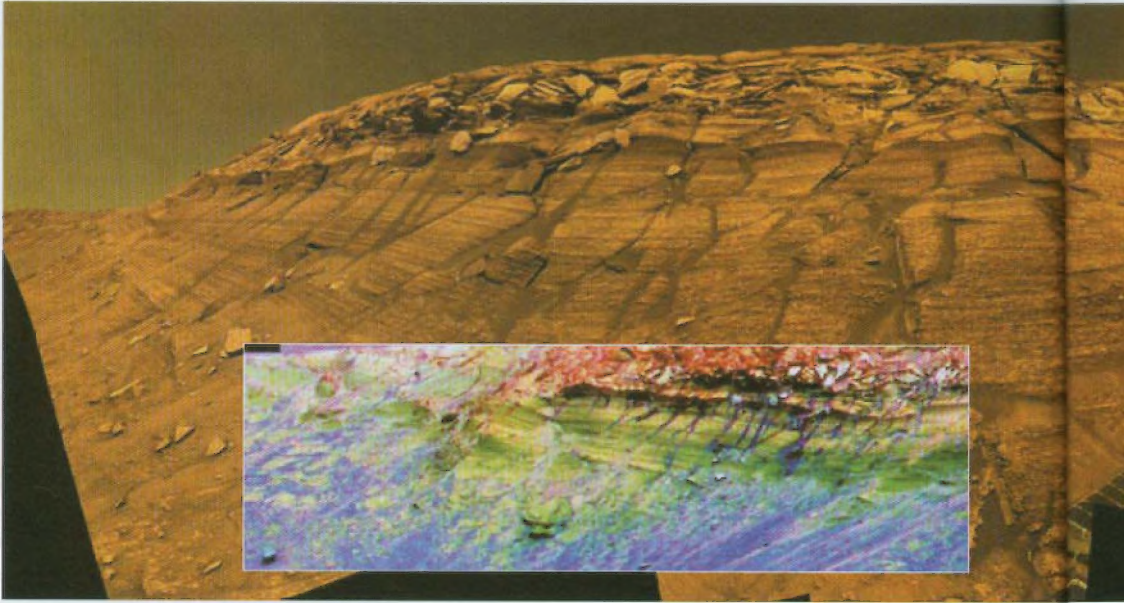
إن أكبر منكشف صخري كشفته المركبة أپورتيونيتي - وهو الذي سُمي جُرْف بيرنز Burns Cliff - بدأ كسلسلة من كتبان رملية بللتها مياه سطحية وجوفية، ويتكون كثير من الحبيبات من كبريتات، تكونت نتيجة تبخر الماء الراكد، الذي ربما وجد في مناطق منبسطة (تسمى غُوطات أو سبخات صحراوية playas) واقعة بين تلك الكتبان. وقياساً على معالم مشابهة على الأرض، فقد استغرق تكوين صخور جُرْف بيرنز مدة تراوح بين آلاف ومئات الآلاف من السنين. وربما تكونت حبيبات الهيماتيت الكروية في وقت لاحق من موانع غنية بالحديد، منسابة عبر الرسوبيات. ولأول مرة، يدرس

الجوال كميات وفيرة من أملاح الكبريت. ومن الواضح أن الصخور البركانية سحقت متحولة إلى حبيبات صغيرة، ثم لصق الملح بعضها ببعض، وهذه عملية قد يشارك فيها ماء سائل يتخلل الصخور، أو حمض كبريتيك يتفاعل مع المعادن الموجودة أصلاً في الصخور. وعلى الرغم من هذه الإشارة الضمنية إلى الماء، فما زالت الصخور تحوي مقادير كبيرة من الزبرجد الزيتوني والبيروكسين. وهكذا يبدو أن الماء - الذي ربما وجد على قاع بحيرة في وقت ما - أدى دوراً ثانوياً خلال بلايين السنين القليلة الماضية.

أما المركبة الجوال أپورتيونيتي، فقد وُجهت إلى سهول ميريدياني. وكان اختيار هذا الموقع نقطة انطلاق عصر جديد في تاريخ استكشاف البشرية للنظام الشمسي: فلم يسبق لعلماء الكواكب إرسال مسجس إلى موقع للتثقيب عن معادنه. صحيح أن بعثات السفن الفضائية المبكرة للمريخ حددت تركيب سطحه بدلالة العناصر الكيميائية، لكن معرفة المعادن - المركبات والبنى البلورية التي كونتها تلك العناصر - كانت تتطلب استعمال المقياس الطيفي للانبعاش الحراري^(١) (TES)، وهو آلة ابتكرتها لسفينة المسح الشامل المدارية^(٢) التابعة للوكالة ناسا، والتي وصلت إلى الكوكب عام 1997. وفي خرائط توزيع المعادن التي أعدناها، تميزت سهول ميريدياني بوفرة عالية من الهيماتيت المتبلور crystalline hematite.

إن أكسيد الحديد هذا (الهيماتيت)، الشائع على الكرة الأرضية، يتكون بعدة عمليات يدخل الماء في معظمها. إحداها عملية ترسيب precipitation من موانع تجري عبر رسوبيات sediments، وثانيها عملية ترسيب من خلال انتزاع الماء من معادن الحديد الحاملة للماء مثل أكسيد الحديد المائي (الجيوتيت) goethite، وهو معدن ذو لون بني ضارب إلى الحمرة، يوجد في كثير من التربة

Thermal Emission Spectrometer (١)
Mars Global Surveyor Orbiter (٢)



وفي ربيع عام 2004، شاركت في الجهود المبذولة سفينة وكالة الفضاء الأوروبية مارس إكسبريس المدارية - الحاملة لقياس طيف الإشعاع تحت الأحمر القريب^(١) أوميكا OMEGA - وبينت السفينة الوجود الواسع لهذه المعادن. وقد جرى التوصل إلى أن الزبرجد الزيتوني موجود تحت السطح بعمق يتجاوز 4.5 كيلومتر، وذلك في جدران منظومة خانق فاليس مارينيريس Valles Marineris Canyon. وهو يظهر في جميع أنحاء السهول الاستوائية بما في ذلك قيعان القنوات. ولم يكن اكتشاف البازلت، الذي يغطي أيضاً قسماً كبيراً من أرضنا وقمرنا، مفاجأة كبيرة. فالحمم (اللابة) التي تنز عبر هاواي هي من البازلت - وهي نمط بدائي - تكونت في المرحلة الأولى لانصهار دثار الكوكب. وتنبثق الحمم على الأرض باستمرار من سلاسل التلال الموجودة في منتصف أرضية المحيطات لتكون قيعانها.

بيد أن هناك اكتشافاً آخر لم يكن متوقعاً. ففي حين أن الصخور في الأراضي القديمة الغنية بفوهات البراكين كانت من البازلت، فإن الصخور الأحدث الموجودة في الأراضي المنخفضة الشمالية شابهت نمطاً أكثر تطوراً من الحمم يسمى أنديسايت andesite. فقد احتوت هذه الصخور قدراً أكبر من الزجاج والمعادن الغنية بالسيليكا، وقدراً أقل من المعادن الحاوية على الحديد. وعلى كوكب الأرض، تتكون الأنديسايتات عادة حينما تمزج الصفائح التكتونية الهابطة الماء بالصخور المنصهرة الواقعة تحت سطح الأرض. هذا ويعتبر الوجود المحتمل للأنديسايتات على المريخ أمراً مثيراً، فقد يشير إلى أن دثار المريخ أكثر ابتلافاً من دثار الأرض، أو أن الحمم الحديثة انصهرت تحت درجات

العلماء منكشفاً^(٢) صخوراً على المريخ، وذلك بالطريقة المتعددة الأوجه التي يتبعها الجيولوجيون على كوكب الأرض.

بل إن مورفولوجية سهول ميريداني، وهي أحد أكثر المواقع انبساطاً، من بين جميع المواقع التي رُصدت على أي كوكب، تشبه قاع بحيرة. ويوحى الامتداد الواسع للهيمايتات، الذي رُصد من السفينة المدارية، بأنها كانت بحيرة كبيرة منعزلة أو بحراً صغيراً، أكثر من كونها جزءاً من محيط شامل. وتحتوي عدة فوهات واقعة جنوب وغرب رواسب الهيمايتات الرئيسية كما تحوي صخوراً طبقية غنية بالهيمايتات، وربما كانت بحيرات منفصلة.

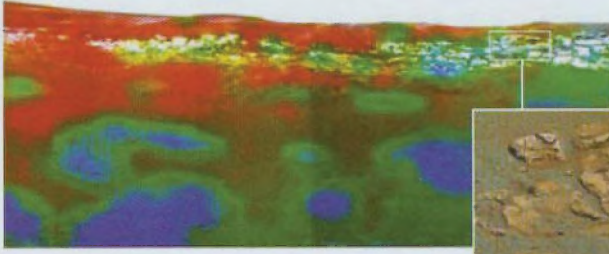
ومجمل القول، إن الأمور بدت وكأن المركبتين الجوالتين هبطتا على كوكبين مختلفين تماماً: أحدهما أشد جفافاً من أي صحراء على الأرض، والآخر أرض تعج بالآلاف البحيرات. فهل هذان هما الاحتمالان الوحيدان، أم أن جيولوجية المريخ أكثر تنوعاً من ذلك؟ وهل يمثل هذان الموقعان، اللذان يفصلهما آلاف الكيلومترات، النسق (النمط) الكلي لمكونات الصخور، والنشاط المائي على المريخ؟ للإجابة عن هذه الأسئلة الكبيرة، نظر العلماء من جديد إلى بيانات السفن المدارية حول المريخ.

أرض الحمم^(٣)

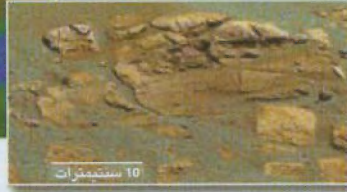
خلال السنوات الثماني الماضية، اكتشف مقياس طيف الانبعاث الحراري TES أن جميع الصخور والرمال المريخية تقريباً مكونة من المعادن البركانية: الفلُتسبار^(٤) feldspar (سيليكاك الألمنيوم)، والبيروكسين والزبرجد الزيتوني - وهي مكونات البازلت basalt.

outcrop (١)
near-infrared spectrometer (٢)
Lava Land (٤)
Mars Express orbiter (٣)

مناطق كان فيها المريخ رطباً^(١)



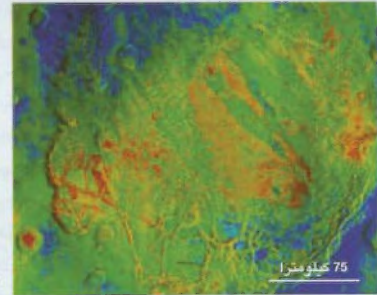
تُظهِرُ يَانُوراما فوهة الشسر^(٢)، حيث حُمِلَتْ أُهورتيونيتي، كميات متباينة من معدن الهيماتيت المرتبط بالماء، تراوح بين كميات قليلة (الأزرق) وكميات كبيرة (الأحمر). والرقع الزرقاء في مقدمة الصورة، هي علامات قطرها قرابة متر، خلقتها المركبة الجوالة أثناء هبوطها. أما المناطق البيضاء في المؤخرة فهي منكشفات صخرية مثل منكشف الكاپيتان El Capitan [الإطار]: وعند إجراء فحص مفصل لها، وُجِد أنها مؤلفة من رسوبيات مائية من الكبريتات والهيماتيت.



«العنبيات» هي كريات صغيرة، بحجم ثمر العنبيات، معثرة في أرجاء موقع الهبوط. وقد سمح تركيزها العالي في الصخرة المسماة Barry Bowl [البيئة هنا بالوان صناعية]، للجوالة بالحصول على سجل لتكوينها: فهي هيماتيت ربما ترسب من الماء في الفراغات المسامية لرسوبيات قاع بحيرة.



تبيّن الصور المجهرية حبات بحجم ثمر التوت في التربة (في اليسار) مطمورة في صخرة تدعى Upper Delta (في الأعلى)، والصخرة مخططة بطبقات سمكها ملليمتر واحد، يتم شكلها عن أنها ترسبت في ماء جار.



أرام كاؤوس^(٣) هو فوهة صدم ممثلة بالهيماتيت، مثل موقع هبوط المركبة أُهورتيونيتي. وتشير درجات الحرارة الليلية التي قاستها سفينة مارس أوديسي المدارية، إلى قوام الفوهة المائي؛ فالداقي [الأحمر] يعني صخوراً، والبارد [الأزرق] يعني غباراً وزملاً. ويبدو أن الصخور المنبسطة في مركز الفوهة [البرتقالي] هي ترسيبات قاع البحيرة، وتشير التضاريس المنخفضة في الجنوب إلى أن الأرض انهارت فجأة، ربما عندما اندفعت المياه تحت السطحية إلى الخارج.

سُرعَت آلة التصوير تحت الحمراء THEMIS (التي ابتكرتها مجموعتي البحثية لسفينة مدارية أخرى تابعة لوكالة ناسا) هي مارس أوديسي^(٤) - في رسم الكوكب بميز قدره 100 متر. وقد بينت هذه الكاميرا، مع المقياس أوميكا، مجموعة متنوعة من مكونات صخور نارية، تناظر مثيلاتها على الأرض.

وقرباً من خط الاستواء المريخي يوجد بركاناً قطره 1100 كيلومتر يسمى سبيرتس ميجر^(٥) تصطف على ذروته سلسلة من الفوهات الخاملة أو الكالديرات calderas. ويتكون معظم البركان من

حرارة أو تحت ضغوط مختلفة عن تلك المتعلقة بالبارزلات القديمة. وللتأكد، يقترح بعض العلماء أن الانديسايتات المفترضة هي «بارزلات متتكرة»، إذ يمكن لضباب مائي أو حامضي، أن يتفاعل مع المعادن، لينتج قشرة رقيقة خارجية veneer شبيهة بالانديسايت، وقد يتعين على الباحثين انتظار نتائج دراسات مفصلة لسطوح هذه الصخور، لحل هذه المسألة.

إن لمقياس طيف الانبعاث الحراري TES مقياساً resolution (قوة تفريق فضائي) منخفضاً إلى حد ما، فمدى الـ بيكسل (العنصورية) pixel الواحد عدة كيلومترات، لذا لم يبدأ التنوع الحقيقي لعلم المعادن المريخي بالوضوح إلا عام 2001، عندما

Aram Chaos (١)
Syrtis Major (٢)

Where Mars Was Wet (+)
Panorama of Eagle Crater (١)
Mars Odyssey (٣)



دعه يثلج : ربما لا يكون المريخ ديناميكيًا مثلما كان في الماضي، ومع ذلك ثمة حياة في هذا الكوكب. فقد شاهدت سفينة مارس إكسبريس المدارية ما يبدو أنه سجال (أنهار جليدية) glaciers حديثة جيولوجيًا، تتدفق عبر سلاسل جبلية وفوهات (في اليمين). وكشفت سفينة مارس أوديسي تراكمت للجليد (السهمان في الوسط واليسار) على المنحدرات المقابلة للقطبين. وقد يكون هذا الثلج مصدر الماء الذي أنتج الأخاديد الحالية (في اليسار). وإذا كانت الميكروبات تعيش في أي مكان على المريخ هذه الأيام، فإن هذه التراكمت الثلجية هي موقع مناسب لها.

البازلت، لكن المنحدرات مرقطة بمخاريط وتدفقات حممية مكونة من حمم زجاجية غنية بالسيليكون تسمى داسيتات dacites. ويتكون هذا النمط الصخري في حجيرات الصهير magma chamber القابعة تحت البراكين. فعندما يبرد الصهير، يكون معدنا الزيرجد الزيتوني والبيروكسين، الغنيان بالحديد والمغنيسيوم، هما أول ما يتبلور. ويستقران في قاع حجيرات الصهير، تاركين الصهير المتبقي غنيًا بالسيليكا والألمنيوم - وهو الذي تبرز منه الداسيتات. وتتكون الذرا المركزية لكثير من الفوهات الموجودة على جوانب سيريس ميجر من صخور أكثر غنى بالسيليكا، هي صخور الغرانيت، التي ربما تشكلت بالانفصال الكامل للبلورات، أو بإعادة صهر البازلت القديم على نطاق واسع.

وقد خلص الباحثون إلى أن هذا البركان مرّ بمراحل تطورية عديدة. ففي البداية، انبثقت الحمم البازلتية من المركز وكونت البركان. ومع تطور الصهير كيميائيًا، بدأت بالخروج من الحجرة الواقعة تحت الذروة، مسببة انهيار الأرض، ومغذية الانبثاقات على جوانب البركان. ولا تتميز البراكين المريخية بالضخامة فحسب، ولكنها أيضا معقدة بدرجة مذهلة.

وسوف تسقط أمطار خفيفة^(١)

إن ما يفتقر إليه المريخ لا يقل أهمية عما يحتويه. إن الكوارتز الموجود بكثرة على الأرض، نادر جدا على المريخ، مما يشير إلى ندرة الغرانيت، الذي يتكون منه الكوارتز، على المريخ. ثم إنه لا دليل على وجود المعادن المتحولة^(٢) مثل الأربواك slate أو الرخام، التي تتكون عندما تخضع الصخور البركانية أو الرسوبية إلى ضغوط ودرجات حرارة عالية. والاستنتاج الرئيسي لهذه الحقائق هو أن تكتونية^(٣) المريخ غير قادرة على دفع الصخور إلى أعماق كبيرة (حيث تُسخن وتُكبس) ثم إعادتها للسطح ثانية.

تحوي الكرة الأرضية مخزونات هائلة من الصخور الكربوناتيّة مثل حجر الجير، الذي ترسّب في محيطات دافئة غنية بثنائي أكسيد

الكربون. ويرى علماء الكواكب أن المريخ كان عادة أدفأ وأرطب، ومن ثم لابد أن يخوي أيضا طبقات سميكة من الكربونات، لكن لم يكتشف شيء منها. وهذا يعني أن أي محيطات على الكوكب كانت إما باردة أو قصيرة الأمد أو مغطاة بالجليد، أو طاردة للكربونات لسبب أو آخر. ويحوي الغبار المنتشر في كل مكان كميات قليلة من الكربونات، ربما تكونت بالتأثر المباشر مع بخار الماء الموجود في الجو، وليس بالتأثر مع الماء السائل على السطح. وثمة طائفة أخرى من المعادن المرتبطة بالماء، هي الأطيان (جمع طين)، ينذر وجودها أيضا على المريخ - مما يوحي ثانية بأن الكوكب كان في معظمه جافًا. وينسجم هذا الاستنتاج مع الوجود الواسع الانتشار لمعدني الزيرجد الزيتوني والبيروكسين الكارهين للماء.

وبهذا المعنى، فإن ما رآه المركبة سبيريت في فوهة كوزيف أكثر تمثيلا للمريخ مما وجدته أبورتونيتي في ميريداني. ومع ذلك، فإن ميريداني ليست المكان الوحيد الذي تظهر فيه البحيرات في الصور المدارية، إذ تحوي فوهة آرام كاؤوس Aram Chaos، التي يبلغ قطرها 280 كيلومترا، ميسلا outflow channel مليئا بالصخور الطباقية التي تحوي هيماتيت، وتكسو قاع فوهة البركان كتل عملاقة من الصخور. ويبدو الأمر كأن سيلا جارفا من ماء تحت سطحي قد اندفع بعنف، مسببا انهيار التضاريس فوقية، فاستقر بعض الماء في الفوهة، وشكّل طبقات من الرسوبيات الحاوية للهيماتيت.

وبالمثل، تحوي أغوار فاليس مارينيريس صخورا حاوية للهيماتيت تنتظم في طبقات رقيقة سهلة الحث، وهذا يشبه ما يتوقعه المرء من ترسيبات في مياه راكدة. إن هذه الصخور المنتشرة مع غيرها في المنطقة الاستوائية، غنية بالكبريتات، وهي إشارة خفية إلى رسوبيات ماء راكد. وربما تكون البحيرات قد مرت بأحداث عديدة من إغراق بالماء، ثم تبخير (وربما تجميد)، ثم تجفيف.

And There Will Come Soft Rains (١)
metamorphic minerals

tectonics (٢)
فرع من الجيولوجيا يعنى بدراسة العالم الإقليمية التركيبية (التحريك)



تقع منطقة نيلي باتيرا Nili Patera على ذروة البركان العملاق سبريتس ميجور، وتحتوي على حمم بازلتية قديمة (الازرق)، ومخاريط داسيخية حديثة العهد وتدفقات (الأحمر). أما الكتلان الرملية (البرتقالي) فهي خليط من هذين النمطين. ويعتبر التبركن المريخي أعقد كيميائيا مما توقعه العلماء.

وإضافة إلى قيعان البحيرات القديمة، هناك مناطق تغشاها شبكات كثيفة من قنوات، كوتها - على ما يبدو - سقوط المطر وجريانه فوق السطح. ويجادل بعض الباحثين بوجود محيطات شاسعة على المريخ في السابق، اعتمادا على أن الصور الفوتوغرافية للكوكب وطوبوغرافيته تشير إلى وجود شواطئ وقيعان محيطات ملساء.

وجميع هذه الاكتشافات مجتمعة توفر دليلا قويا على أن الماء كان مستقرا في مناطق منعزلة طوال فترات قصيرة الأمد، ثرى، ما هي العوامل التي جعلت الماء يتراكم ويظل مستقرا في هذه المواقع؟ ثمة تخمين قوي يعزو هذه العوامل إلى تآزر حرارة باطن الكوكب، وكميات وفيرة من الملح (الذي يخض درجة حرارة التجمد)، ووجود غطاء واق من الجليد. وربما أدت صدمات النيازك الكبيرة، بين حين وآخر، إلى تدفئة الغلاف الجوي وزيادة سماكته.

لكن يبدو أن فكرة تشابه الكوكب في وقت ما بالأرض قد عفا عليها الزمن. فالانطباع السائد من الخرائط التعدينية الشاملة هو أننا حيال سطح قديم، مازال يحتفظ بعبائه البركانية الأصلية، غير الماء قليلا. وحتى في سهول ميريداني، تدل الرمال البازلتية أعلى بحيرة الرسوبيات، على جفاف الموقع طوال مدة تراوح بين بليونين وثلاثة بلايين سنة. وعلى الرغم من وجود شبكات البحيرات وأشباه الأنهار، فإن الماء ربما جرى فيها مدة قصيرة فقط. ومن المحتمل أن الماء الذي ظل مجمدا طوال معظم الوقت، كان يجري بين الفينة والأخرى، وما يلبث أن يتجمد ثانية. ومع ذلك، مازال علماء الكواكب حائرين في تفسير كيف أن عالمًا كان في عموميه مجديا إلى هذا الحد، يصبح، في أمكنة وأوقات معينة، مائيا بهذه الدرجة.

كوكب الفصول الطويلة^(*)

إن الماضي الملمحي⁽¹⁾ الطويل للمريخ يجعله يحظى باكبر قدر من الاهتمام، بيد أن ثمة تطورين بعثا الحماس ثانية لدراسة نشاطه هذه الأيام. أولهما الإجماع المتعاظم على أن المريخ كان نشيطا جيولوجيا في الماضي القريب. فمعظم البراكين الضخمة والسهول الحممية قديمة، ويعود تاريخها إلى النصف الأول من تاريخ الكوكب، لكن غياب فوهات صدم نيزكية على الطفوح البركانية، في مناطق مثل أثاباسكا Athabaska، يوحي بأنها حديثة (بالمعايير الجيولوجية)، وإنها نتيجة ابتلاقات جرت في ملايين السنين القليلة الماضية. وقد فتش الباحثون في الصور تحت الحمراء الليلية عن براكين نشيطة، أو بقاع ساخنة في باطن الأرض، فلم يعثروا حتى الآن على شيء منها. ويبدو أن المريخ قد برد إلى درجة يندر فيها التبركن، رغم تفجر الحمم على السطح من وقت إلى آخر.

أما التطور الثاني فهو اكتشاف أن المريخ يحوي مستودعات هائلة من الماء المتجمد الذي ينساب في أرجاء الكوكب مع تغيرات مناخه. ومنذ البداية، يحوي كلاً القطبين مخزونات من جليد أو

رسوبيات غنية بالجليد، يصل سمكها إلى عدة كيلومترات، وتمتد على مساحة تبلغ نحو ضعف الأريزونا. وقد بينت قراءات الحرارة تحت الحمراء في السبعينات من القرن العشرين أن قلنسوة القطب الشمالي هي جليد مائي water ice، لكنها لم تحدد تركيب قلنسوة القطب الجنوبي. وتماثل درجة حرارة سطحه، درجة حرارة ثنائي أكسيد الكربون المتجمد. لكن هل يقبع الجليد المائي في الأسفل؟ لقد كشفت قراءات حديثة لدرجات الحرارة، قاسها الجهاز THEMIS وجود جليد مائي نائي في أمكنة معينة، ومن ثم يبدو أن الجواب عن هذا السؤال هو نعم.

ويضاف إلى المخزون المائي المعروف، الجليد الجوفي، الذي كشفته ألتا مقياس طيف أشعة كاما ومكشاف النيوترونات العالية الطاقة المحمولتان على السفينة مارس أوديسي، اللتان تقيسان أشعة كاما والنيوترونات الناتجة من تصادم الأشعة الكونية بذرات في التربة. ويكشف التوزيع الطاقى لفوتونات كاما والنيوترونات، عن عناصر تركيب التربة إلى عمق عدة أمتار. فالهيدروجين مثلا، يمتص النيوترونات بقوة، ومن ثم فإن ندرة النيوترونات تتم عن وجود هيدروجين تحت السطح - والأكثر احتمالا أنه جزيء الهيدروجين H₂ الناتج من الماء H₂O. ويبدو أن الماء، في المناطق المحصورة بين خطي عرض 60 درجة وكل من القطبين، يكن أكثر من 50 في المئة من وزن التربة. إن وجود الجليد بهذه الوفرة العالية لا يمكن أن يكون نتيجة مجرد انتشار بخار الماء من الهواء الجوي إلى مسام التربة، وبدلا من ذلك، لا بد أن يكون الثلج قد اختزن على شكل صقيع أو جليد.

إن التضاريس غير العادية للأرض، التي شوهدت عبر خطوط العرض الوسطى، تشير أيضا إلى وجود جليد، وثمة تضاريس شبيهة بملعب كرة السلة بين خطي العرض 30 و 50 درجة في كلا نصفي كرتي الكوكب. وربما يتكون مثل هذه التضاريس نتيجة

أبولينارس باتيرا Apollinaris Patera، هو بركان عريض لكنه منخفض، قذف حمما متباينة التكوين. وربما كان هذا البركان مصدر الرماد الذي عثر عليه الجواله سيبريت على بعد 350 كيلومتراً جنوباً. وجرى تحت الرواسب البركانية إلى أعماق كبيرة بواسطة الماء. وقد رصدت سفن الفضاء انهيارات قوية في المنطقة.

تحوي معادن تتحلل بسرعة في البيئة الرطبة. والمناخ جاف وبارد، ومع ذلك فإن الجواله أپورتونييتي وجدت نفسها على قاع بحر قديم، مما يشير إلى أن المناخ كان مختلفاً جداً. والماء السائل غير مستقر في ظل الظروف الحالية، ومع ذلك فقد تكونت أخاديد حديثة، وقد يتواصل تكونها.

يعتبر تنوع البيانات السطحية من مكان لآخر ومن وقت لآخر، أحد أهم المؤشرات الواعدة لدراسة بيولوجية المريخ: إذ يوفر مجموعة غنية من البيانات، ربما سمحت بوجود الحياة. فقد كان الماء وفيراً في البحيرات عهوداً طويلة، وإن كانت متقطعة. وربما دامت هذه المياه مدة طويلة تكفي لكي تدب حياة في المادة غير الحية. ولعل الكائنات الحية مازالت متشبثة بالحياة، وأنها تمر بحالة سبات خلال المراحل الباردة، ثم تنشط عندما تتحسن الظروف المناخية. وسوف تكون بقايا البقايا الثلجية والأخاديد ومناطق مشابهة أخرى، مكاناً رائعاً، لتبحث البعثات الإنسائية⁽¹⁾ robotic المستقبلية عن حياة فيها.

(1) نسبة إلى إنسالة، وهذه نعت من إنسان - الي. (التحرير)



تسخن التربة وتبخّر الجليد، وهذا يؤدي إلى تفتت التربة. ويوجد نمطان من الترسبات في تجاويف فوق المنحدرات الباردة المواجهة للقطبين: وهي طبقة مادية سمكها عشرة أمتار - يُحتمل أن تكون بقايا تلج مائي نقي إلى حد كبير. وكانت الأخاديد الصغيرة الحديثة العهد التي تنشأ عادة عن جريان المياه بعد المطر - أحد أهم المكتشفات اللافتة للنظر في خطوط العرض الوسطى، وربما كانت نتيجة ماء ينبوعي، أو ذوبان للجليد القريب من السطح، أو ذوبان لقاذير وفيرة من تلج منطلق من أسفل إلى أعلى.

وتوحي جميع هذه المعالم المرتبطة بالماء أن المريخ، مثل الأرض، يمر بدورة من دورات العصور الجليدية. ويتذبذب ميل محور دوران الكوكب حول زاوية تبلغ 20 درجة خلال دورة طولها 125 000 سنة. وعندما يكون الميل صغيراً، يكون القطبان أبرد مكانين على الكوكب، ويسقط عليهما تلج أكثر مما يتبخّر منهما، وتكون الحصلة تراكم الجليد. ومع ازدياد الميل، يستقبل القطبان قسماً أكبر من ضوء الشمس، ويستخفان على حساب خطوط العرض الوسطى. ويميل الماء إلى الجريان من القطبين تجاه خط الاستواء. ومع تراكم الثلج على السطح، يمكن للماء أن يقطر برفق. وفي أيامنا هذه تسخن خطوط العرض الوسطى، واختفى معظم الغطاء الثلجي، ولو كان نموذج عصر الجليد صحيحاً فعلاً، فليسوف تعود عصوره خلال ما يراوح بين 25 000 و 50 000 سنة المقبلة.

وقصة معلومتنا عن كوكب المريخ شبيهة بحكاية المكشوفين الذين يصفون فيلاً: فجيولوجية الكوكب تبدو متغيرة، تبعاً للموقع الذي ننظر نحوه. والكوكب مكان غني بالتضاريس، وله حاضر يتسم بدينامية مذهلة. وماضٍ معقد متناقض. وصخوره البركانية متنوعة كمثيلاتها على الأرض، وتبين المظاهر الدالة على وجود الماء تابناً شديداً. كان الكوكب عرضة لفيضانات غامرة، وربما لسقوط الأمطار عليه في باكورة تاريخه. ومع ذلك فإن صخوره القديمة مازالت

المؤلف

Philip R. Christensen

بدأ اهتمامه بعلم الجيولوجيا في طفولته عندما كان دائم السفر في الغرب الأمريكي. وقد شاهد المريخ أول مرة بقراب أهداه إليه والداه ليلوغه الثانية عشرة. «كريستنسن»، الذي يعمل حالياً أستاذاً بجامعة أريزونا الحكومية، هو أكبر خبير عالمي في تركيب سطح المريخ. وقد ابتكر فريقه البحثي آلات الأشعة تحت الحمراء لسفن البعثات الفضائية: الماسح الشامل للمريخ، ومارس أوديسي، وبعثات السفن الجواله لاستكشاف المريخ. وفي عام 2003 منحته وكالة ناسا ميدالية الإنجازات العلمية الاستثنائية، كمكافأة له على أبحاثه العلمية الرائدة للمريخ بالأشعة تحت الحمراء. ومنذ منتصف التسعينيات من القرن الماضي، استعمل «كريستنسن» أيضاً أبحاثاً سفن الفضاء لدراسة مشكلات التنمية البيئية والحضرية على الكرة الأرضية.

مراجع للاستزادة

Global Mapping of Martian Hematite Mineral Deposits: Remnants of Water-Driven Processes on Early Mars. P. R. Christensen, R. V. Morris, M. D. Lane, J. L. Bandfield and M. C. Malin in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 106, Part 10, pages 23,873-23,885; 2001.

Morphology and Composition of the Surface of Mars: Mars Odyssey THEMIS Results. Philip R. Christensen et al. in *Science*, Vol. 300, No. 5628, pages 2056-2061; June 27, 2003.

Spirit at Gusev Crater. Special issue of *Science*, Vol. 305, No. 5685, pages 793-845; August 6, 2004.

Opportunity at Meridiani Planum. Special issue of *Science*, Vol. 306, No. 5702, pages 1697-1756; December 3, 2004.

Roving Mars: Spirit, Opportunity, and the Exploration of the Red Planet. Steve Squyres. Hyperion, 2005.

Scientific American, July 2005

أَلغاز الكتلة^(*)

يُجدّ الفيزيائيون في البحث عن جسيم مراوغ يمكنه أن يكشف عن وجود نوع جديد من الحقول (حقل هيگز) ينتشر في الوجود المادي كله. فوجود هذا الحقل سيوفر فهماً أكمل عن الكيفية التي يعمل بها الكون.

«G. كين»

أية حال، أصبح «سبب» الكتلة موضوع بحث في علم الفيزياء. ففهم معنى الكتلة وأصولها سوف يكمل النموذج العياري Standard Model لفيزياء الجسيمات ويوسعه. هذا النموذج هو النظرية المعترف بها والتي تصف الجسيمات الأولية المعروفة وتأثيراتها. كما أن هذا الفهم سوف يحل الغازاً مثل المادة الخفية التي تشكل نحو 25 في المئة من الكون.

إن أساس فهمنا الحديث للكتلة أعقد بكثير من تعريف «نيوتن»، وهو يستند إلى النموذج العياري. ففي قلب هذا النموذج توجد دالة رياضية تدعى «لاكرانجيان» Lagrangian هي التي تمثل كيف تتأثر الجسيمات المختلفة. ويستطيع الفيزيائيون انطلاقاً من هذه الدالة، وابتاع القواعد المعروفة باسم النظرية الكمومية النسبية⁽¹⁾، أن يحسبوا سلوك الجسيمات الأولية، بما في ذلك كيفية تجمعها لتشكل جسيمات مركبة مثل البروتونات. ونستطيع بعدئذ أن نحسب كيف تستجيب الجسيمات، الأولية منها والمركبة، للقوى فبالنسبة إلى قوة معينة F يمكن أن نكتب معادلة «نيوتن» على الصورة $F = ma$ التي تربط بين القوة والكتلة والتسارع الناتج وتفيدنا دالة لاكرانجيان في معرفة ماذا نستخدم من أجل m هنا، وهذا هو المقصود بكتلة الجسيم.

لكن الكتلة، كما نفهمها عادة، تظهر بوضوح في أكثر من مجرد العلاقة $F = ma$. فنظرية النسبية الخاصة «آينشتاين»، على سبيل المثال، تتنبأ بأن الجسيمات المعدومة الكتلة تسير في الخلاء بسرعة الضوء وأن الجسيمات ذات الكتلة تسير أبداً كثيراً من ذلك بصورة يمكن معها حساب سرعتها إذا عرفنا كتلتها. كما تتنبأ قوانين الثقالة بأن الثقالة تؤثر في الكتلة وفي الطاقة أيضاً بصورة محددة تماماً. والكمية m المستنتجة من دالة لاكرانجيان لكل جسيم تسلك سلوكاً صحيحاً وفق أي من هذه الطرق؛ تماماً كما نتوقع بالنسبة إلى كتلة معينة.

إن للجسيمات الأساسية كتلاً ذاتية تُعرف باسم الكتلة السكونية rest mass (أما تلك الجسيمات التي كتلتها السكونية

يعتقد معظم الناس أنهم يعرفون ما هي الكتلة، لكنهم لا يدركون سوى جزء من الحكاية. فالفيل، على سبيل المثال، أكبر كثيراً من النملة حجماً ووزناً. وحتى في غياب الثقالة، تبقى كتلة الفيل أكبر - فدفعه أو تحريكه أصعب. ومن الواضح أن الفيل أكبر كتلة لأنه مؤلف من عدد من الذرات أكبر كثيراً مما في النملة. ولكن ما الذي يحدد كتلة كل من الذرات المنفردة؟ وماذا عن الجسيمات الأولية التي تشكل الذرات - ما الذي يحدد كتلتها؟ وبالفعل لماذا يكون لها كتلة أصلاً؟

وهكذا نرى أن لسالة الكتلة وجهين مستقلين، أولاً، يلزم أن نعرف كيف تنشأ الكتلة أصلاً. يبدو أن الكتلة تنتج من ثلاث آليات مختلفة على الأقل، وهي التي سوف أصفها فيما يلي. إن أحد العوامل الأساسية في النظريات التلمسية (التجريبية) tentative theories للفيزيائيين حول الكتلة هو نوع جديد من الحقول ينتشر في الوجود المادي كله، يدعى حقل هيگز Higgs field. ويُعتقد أن كتل الجسيمات الأولية تأتي من التآثر مع حقل هيگز. فإذا كان حقل هيگز موجوداً بالفعل فإن النظرية تتطلب أن يكون له جسيم مرفق به، هو بوزون هيگز Higgs boson. ويحاول العلماء حالياً، باستخدام مسرعات الجسيمات particle accelerators، العثور على هذا البوزون.

والوجه الثاني هو أن العلماء يريدون أن يعرفوا لماذا تمتلك مختلف أنواع الجسيمات الأولية مقادير كتلة خاصة بها تغطي مدى يبلغ 10^{11} ضعفاً على الأقل، ولكننا مازلنا لا نعرف سبباً لذلك [انظر الشكل في الصفحة 16]. وعلى سبيل المقارنة، فإن كتلة الفيل تتفوق كتلة أصغر نملة بنحو 10^{11} ضعفاً.

ما هي الكتلة^(**)

قدم «إسحق نيوتن» أول تعريف علمي للكتلة في عام 1687 في مؤلفه الشهير «المبادئ» Principia: «إن كمية المادة هي قياس هذه الكمية الناشئة عن كثافتها وحجمها معاً». وكان ذلك التعريف الأساسي جداً كافياً تماماً لـ«نيوتن». وللعلماء الآخرين لمدة تزيد على 200 سنة. لقد أدركوا أن العلم ينبغي أن يبدأ أولاً بوصف كيفية سير الأمور، ثم بفهم السبب بعد ذلك. وفي السنوات الأخيرة، على

(*) العنوان الأصلي: THE MYSTERIES OF MASS
(**) What is Mass?
(1) relativistic quantum theory

تساوي صغرا فتدعى جسيمات معدومة كتلة (massless)، وبالنسبة إلى الجسيمات المركبة فإن الكتلة السكونية للمكونات، وكذلك طاقتها الحركية والطاقة الكامنة لتأثيراتها تسهم جميعها في كتلة الجسيم الكلية. ذلك أن الطاقة والكتلة مرتبطتان حسب معادلة «آينشتاين» الشهيرة $E = mc^2$ (الطاقة تساوي جداء الكتلة في مربع سرعة الضوء)

وكمثال على الطاقة التي تسهم في الكتلة ما يحدث في أكثر أنواع المادة انتشارا في الكون - البروتونات والنيوترونات التي تشكل النوى الذرية في النجوم والكواكب والناس وفي كل ما نراه. تشكل هذه الجسيمات من 4 إلى 5 في المئة من الكتلة-الطاقة في الكون [انظر الإطار في الصفحة 17]. ويدلنا النموذج العياري على أن البروتونات والنيوترونات مؤلفة من جسيمات أولية تدعى كواركات quarks، وهذه يرتبط بعضها ببعض ببساطة جسيمات معدومة الكتلة تدعى كلوونات gluons. وعلى الرغم من أن المكونات تدور وتلف داخل كل بروتون، فإننا نرى البروتون من الخارج جسيما متسقا ذا كتلة ذاتية تُعطى ببساطة حاصل جمع كتل وطاقات مكوناته.

وبتتيح لنا النموذج العياري أن نجد بالحساب أن الكتلة الكلية تقريبا للبروتونات والنيوترونات تأتي من الطاقة الحركية للكواركات والكلوونات المكونة لها (والباقي يأتي من الكتلة السكونية للكواركات). وهكذا فإن بين 4 و 5 في المئة من الكون كله - أي كل المادة المعروفة من حولنا تقريبا - تأتي من طاقة حركة الكواركات والكلوونات في البروتونات والنيوترونات.

آلية هيگز⁽¹⁾

إن الجسيمات الأولية فعلا - مثل الكواركات والإلكترونات، بخلاف البروتونات والنيوترونات - ليست مؤلفة من أجزاء أصغر منها. وتفسير كيفية وجود كتلة لها يمسّ اللبّ من مسألة أصل الكتلة. وكما ذكرت آنفا، فإن التفسير الذي تقترحه الفيزياء النظرية المعاصرة يقضي بأن كتل الجسيمات الأولية تنشأ عن تأثيرات مع حقل هيگز. ولكن لماذا يوجد حقل هيگز خلال الكون



خفّة الفيل الإفريقي الذعر (نحو 6000 كيلوغرام) نسوق خفّة أصغر أنواع النمل (0.01 مليغرام) بأكثر من 10¹¹ ضعفا، وهذا تقريبا هو الفرق نفسه بين الكوارك الذروي والنيوترينو. أما لماذا يجب على كتل الجسيمات أن يختلف بعضها عن بعض يمثل هذا الفذر الكبير لمبفى لغزا

كله؟ ولماذا لا تساوي شدته الصغر أساسا على المستوى الكوني، شأنه في ذلك شأن الحقل الكهرومغناطيسي؟ وما هي حقيقة حقل هيگز؟

إن حقل هيگز هو حقل كمومي، قد يبدو هذا غامضا، لكن الحقيقة هي أن جميع الجسيمات الأولية تنشأ على شكل كمات (كمومات) عن حقل كمومي مناظر. والحقل الكهرومغناطيسي هو أيضا حقل كمومي (جسيمه الأولي المناظر هو الفوتون). وهكذا في هذا الخصوص، لا يشكل حقل هيگز لغزا أكثر مما

The Higgs Mechanism (٤)

تشكله الإلكترونات أو الضوء، لكنه يختلف، على أية حال، عن جميع الحقول الكمومية الأخرى بثلاث طرق حاسمة. الاختلاف الأول تقني بعض الشيء. فجميع الحقول خاصة تدعى سبين $spin$ ، وهي كمية ذاتية للانفعال الزاوي $angular momentum$ يحملها كل من جسيماتها. فجسيمات مثل الإلكترونات لها سبين مقداره $1/2$ ، ومعظم الجسيمات المرفقة بقوة ما، مثل الفوتون، لها سبين 1.

(أي حين تتلاشى القول) - إذا أدخل أي حقل غير معدوم فإن الطاقة المختزنة في الحقول تزيد الطاقة الصافية للمنظومة. لكن طاقة الكون، في حالة حقل هيگز، تكون أقل إذا لم يكن الحقل معدوما بل كانت له قيمة ثابتة مختلفة عن الصفر. ويلغى التشبيه بالوادي مجازاً يكون أسفل الوادي بالنسبة إلى الحقول العادية في الموضع الذي يكون فيه الحقل معدوماً. أما بالنسبة إلى حقل هيگز فتكون للوادي

لماذا ينتشر حقل هيگز في الكون كله؟ ما هو حقل هيگز؟

أما بوزونات هيگز (وهي جسيمات حقل هيگز) فلها سبين 0، ووجود هذا الأخير (سبين 0) يمكن حقل هيگز من الظهور في دالة لاجرانجيان بطرق تختلف عنها بالنسبة إلى الجسيمات الأخرى، وهذا بدوره يتيح - ويؤدي إلى - خاصتيه الأخرين المميزتين له.

تفسر الخاصية الثانية الفريدة لحقل هيگز كيف أن شدته ليست صفراً في جميع أنحاء الكون، وتوضح سبب ذلك. فكل منظومة، بما في ذلك الكون، تهوي إلى حالة الطاقة الدنيا لها، مثل كرة تتدحرج نازلة إلى قاع الوادي. وبالنسبة إلى الحقول المألوفة، مثل الحقول الكهرومغناطيسية التي توفر لنا البث الإذاعي، تكون حالة الطاقة الدنيا هي تلك التي تكون فيها الحقول معدومة القيمة

هضبة صغيرة في مركزه (حيث ينعدم الحقل) وأخفض نقطة في الوادي تشكل دائرة حول الهضبة [انظر المؤطر في الصفحة المقابلة]. والكون، مثله مثل كرة، يستقر في مكان ما في هذا الخندق الدائري الذي يقابل قيمة غير معدومة للحقل. أي إن الكون، في حالته الطبيعية ذات الطاقة الأكثر انخفاضاً، ينتشر فيه حقل هيگز غير معدوم.

والصفة الأخيرة المميزة لحقل هيگز هي شكل تأثيراته مع الجسيمات الأخرى، فالجسيمات التي تتأثر مع حقل هيگز تسلك كما لو أن لها كتلة متناسبة مع حاصل ضرب شدة الحقل في شدة التأثير. وتنشأ الكتلة عن حدود دالة لاجرانجيان التي تكون فيها الجسيمات متأثرة مع حقل هيگز. لايزال فحسباً لكل هذا غير كامل على

كل حال، ولستأ متأكدين من عدد أنواع حقول هيگز الموجودة. ومع أن النموذج العياري لا يتطلب سوى حقل هيگز واحد لتوليد كتل جميع الجسيمات الأولية، إلا أن الفيزيائيين يعلمون أن ينبغي أن تحل محل النموذج العياري نظرية أكثر كمالاً. والنظريات الرئيسية المتنافسة، وهي امتدادات للنموذج العياري، تدعى النماذج العياري الفائقة Supersymmetric Standard Models



(واختصاراً SSMs). يكون لكل جسيم من النموذج العياري في هذه النماذج ما يسمى بالقرين الفائق superpartner (لم يكتشف بعد) له خصائص مشابهة جداً. ويحتاج الأمر في النموذج العياري الفائق التماثل إلى نوعين مختلفين على الأقل من حقول هيگز. والتأثيرات مع هذين الحقلين هي التي تعطي كتلة لجسيمات النموذج العياري، وهي تعطي كذلك بعض (ولكن ليس جميع) الكتلة للقرائن الفائقة. وتنشأ عن حقلي هيگز خمسة أنواع من بوزونات هيگز: ثلاثة منها متعادلة كهربائياً وأثنان مشحونان. ومن الممكن لكتل الجسيمات المدعوة نيوترينوهات $neutrinos$ ، وهي كتل صغيرة جداً مقارنة بكتل الجسيمات الأخرى، أن تنشأ بصورة غير مباشرة غالباً عن هذه التأثيرات، أو عن نوع ثالث آخر من حقول هيگز.

توجد لدى النظريين عدة أسباب تجعلها يتوقعون أن تكون صورة النموذج العياري الفائق التماثل SSM حول تأثير هيگز هي صورة صحيحة. أولاً، من دون آلية هيگز سيكون البوزونان Z و W ، وهما اللذان يتقلان القوة الضعيفة، معدومي الكتلة مثلها مثل الفوتون (الذي يتعلق به)، وسيكون التأثير الضعيف في مثل قوة التأثير الكهرومغناطيسي

نظرة إجمالية/فيزياء هيگز⁽¹⁾

- تبدو الكتلة خاصية عادية من خصائص المادة ولكنها في الواقع غامضة بالنسبة إلى العلماء من عدة نواح: أولاً كيف تكتسب الجسيمات الأولية كتلة، ثم لماذا يكون لها هذه الصل.
- سوف تساعد الأجوبة عن هذه الأسئلة الفيزيائيين على استكمال النموذج العياري لفيزياء الجسيمات وتوسيعه. هذا النموذج الذي يصف الفيزياء التي تحكم الكون ويمكن للنموذج العياري الموسع أن يساعد أيضاً على حل أحجية المادة الخفية التي تشكل نحو 25 في المئة من الكون.
- لفهم النظريات بأن الجسيمات الأولية تكتسب كتلة بواسطة التأثير مع حقل كمومي منتشر في الوجود المادي كله. ويمكن للتجارب التي تجري في سرعات الجسيمات أن تكشف قريباً الدليل المباشر على وجود هذا الحقل الذي يسمى حقل هيگز.

Overview / Higgs Physics (v)

[1] "The Dawn of Physics beyond the Standard Model," by Gordon Kane, Scientific American, June 2002

خصائص حقل هيگز الماروع^(١)

كيف يولد حقل هيگز الكتلة



... ويتأثر مع الأطفال الذين يبتلعون سيرة - كما لو أنه يكتسب كتلة.



ويشبه الجسم الذي يعبر تلك المنطقة الفضاء بانع المثلجات الذي يصل ...



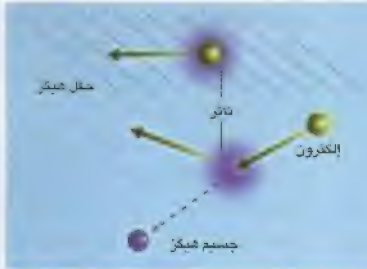
يشبه الفضاء «الخالى» المملوء بحقل هيگز شاطئاً ممتلئاً بالأطفال..

التسبب في ظاهرتين

يسبب التأثير نفسه ظاهرتين مختلفتين تماماً - اكتساب الجسم كتلة (في الأعلى) وإنتاج بوزون هيگز (في الأسفل). وسوف تكون لهذه الحقيقة فائدة عظيمة في اختبار نظرية هيگز بوساطة التجارب.

انتشار في الوجود المادي

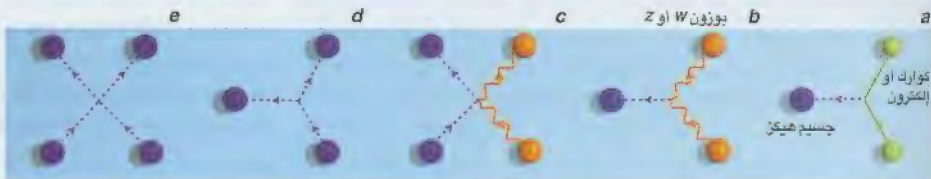
الحقل العادي، مثل الحقل الكهرومغناطيسي، تكون طاقته الدنيا عند شدة الحقل المعدومة (في اليمين)، والكون مثل كرة كانت تندرج ثم سكنت في قعر الوادي - أي إنه استقر عند شدة الحقل المعدومة، أما حقل هيگز، على العكس من ذلك، فله طاقة دنيا عند شدة حقل غير معدومة، وه الكرة، تسكن عند قيمة لا تساوي الصفر (في اليسار)، وعلى هذا فالتكون، في حالته الطاقية الدنيا الطبيعية، ينتشر في حقل هيگز الذي قيمته غير معدومة.



التأثر مع جسيمات أخرى

ينقل مخططات القوة المسماة «مخططات فينمان» كيفية تأثر جسيم هيگز مع جسيمات أخرى. ويعمل المخطط (a) جسماً مثل الكوارك أو الإلكترون وهو يصدر أو يمتص جسيم هيگز (مرسوم). وبين المخطط (b) العملية المناظرة بالنسبة إلى بوزون W أو Z. ويمكن للبوزونين Z و W أن يتأثرا كذلك أيضاً مع جسيم هيگز كما هو مبين في المخطط (c) الذي يمثل أيضاً بعبارة W أو Z لجسيم هيگز (أو تصادمهما معاً إن صح

القول). إن التأثيرات الممثلة بوساطة المخططات من (a) إلى (c) هي أيضاً المسؤولة عن توليد كتل الجسيمات. فجسيم هيگز يتأثر كذلك مع نفسه كما هو ممثل في المخططين (d) و (e). ويمكن بناء عمليات أكثر تعقيداً بوساطة ربط نسخ من هذه المخططات الأولية بعضها ببعض، والتأثران الموضحان في المخططين (d) و (e) مسؤولان عن شكل المنحني البياني للطاقة (أي الأعلى إلى اليمين).



Properties of the Elusive Higgs (١)



تختلف كتل جسيمات النموذج العياري بعضها عن بعض بمقدار 10^{11} ضعفا على الأقل، ويُعتقد أن التأثيرات مع حقل هيگز هي التي تولد هذه الكتل. ويرجح وجود خمسة من جسيمات هيگز على الأقل، ولكن كتلتها غير معروفة، وقد أشير إلى كتل هيگز الممكنة.

الاختبارات هو مصادمات جسيمات مناسبة - أي مصادمات ذات طاقة كافية لإنتاج بوزونات هيگز المختلفة، وذات شدة كافية لإنتاج عدد كاف منها، وكذلك مكاشيف جيدة لتحليل ما ينتج.

والمشكلة العنقية في إجراء مثل هذه الاختبارات هي أننا لم نفهم بعد النظريات قهما جيدا يكفي لحساب الكتل التي ينبغي أن تكون لبوزونات هيگز نفسها، وهذا يجعل البحث عنها أكثر صعوبة لأن المرء عليه أن يتفحص سلسلة من الكتل. إن الجمع بين الاستدلال المنطقي النظري والبيانات التجريبية يمكن أن يرشدنا إلى الكتل التقريبية المتوقعة. كان المصادم الإلكتروني-البوزيتروني الكبير (LEP) في المختبر الأوروبي لفيزياء الجسيمات CERN بالقرب من مدينة جنيف قد جرى تشغيله على مدى كتلي يشتمل، باحتمالية عالية، على بوزون هيگز. لكنه لم يجده - على الرغم من أنه كان ثمة دليل خفّار $\tan\beta$ على وجود بوزون عند حدود طاقة المصادم وشدة بالضبط - قبل أن يغلق عام 2000 مفسحا مكانة لبناء مشاة (أحدث هي مصادم الهادرونات الكبير (LHC) التابع لمختبر سيرن. وعلى هذا ينبغي أن تكون بوزونات هيگز أثقل بنحو 120 مرة من كتلة البروتون. ومع ذلك تمكن المصادم LEP من إعطاء دليل غير مباشر على وجود بوزون

اختبار النظرية⁽¹⁾
من الطبيعي أن يرغب الفيزيائيون في إجراء اختبارات مباشرة لفكرة أن الكتلة تنشأ عن التأثيرات مع حقول هيگز المختلفة. وبإمكاننا اختبار ثلاث سمات لثلية. أولا، بإمكاننا البحث عن الجسيمات المميزة المدعوة بوزونات هيگز. فهذه الكتل $quanta$ يجب أن تكون موجودة وإلا كان التفسير غير صحيح. ويبحث الفيزيائيون حاليا عن بوزونات هيگز في المصادم تيفاترون Tevatron Collider الوطني في باتافيا بولاية إيلينوي.

ثانيا، بمجرد أن تُكشف بوزونات هيگز يصبح بإمكاننا ملاحظة الكيفية التي تتأثر بها هذه البوزونات مع الجسيمات الأخرى. وحدود دالة لاكرانجيان التي تحدد كتل الجسيمات هي ذاتها التي تحدد أيضا خصائص مثل هذه التأثيرات. ولهذا يمكننا إجراء تجارب لاختبار وجود حدود ذلك النوع من التأثير كميا، ذلك أن شدة التأثير ترتبط بكتلة الجسيم ارتباطا فريدا.

ثالثا، تتضمن المجموعات المختلفة من حقول هيگز، كتلك الموجودة في النموذج العياري أو في النماذج SSM المتنوعة، مجموعات مختلفة من بوزونات هيگز ذات الخصائص المتباينة. ولذلك فإن بإمكان الاختبارات أن تميز بين هذه الخيارات أيضا وكل ما نحتاج إليه لإجراء

وتبين النظرية أن الية هيگز تمنح كتلة للبوزونين Z و W بطريقة خاصة جدا. وقد أثبتت تجريبيا تنبؤات تلك المقاربة (مثل النسبة بين كتلتي Z و W).

ثانيا، لقد أُخْبِرَت جميع أوجه النموذج العياري اختبارا جيدا، ومن العسير تغيير جزء من هذه النظرية المفصلة المتشابهة (مثل الهيگز) من دون أن يؤثر ذلك في بقيةتها، فعلى سبيل المثال، قاد تحليل القياسات الدقيقة لخواص البوزونين Z و W إلى التنبؤ الصحيح بكتلة الكوارك الذروي top quark قبل إنتاج هذا الكوارك بصورة مباشرة، وسوف يغسد تغيير الية هيگز ذلك التنبؤ وتنبؤات أخرى ناجحة.

ثالثا، نتجح الية هيگز في النموذج العياري نجاحا تاما في إعطاء كتلة لجميع جسيمات النموذج العياري، وللبوزونين Z و W ، وكذلك للكواركات والليبتونات leptons، في حين تفشل المقترحات البديلة عادة في ذلك، ثم إن النظرية SSM، بخلاف النظريات الأخرى، توفر إطارا لتوحيد فهمنا لقوى الطبيعة. وأخيرا فإن بإمكان النظرية SSM أن تفسر لماذا يكون «وادي» الطاقة الخاص بالكون بالشكل الذي تتطلبه الية هيگز. ففي النموذج العياري الأساسي ينبغي وضع شكل الوادي كفرضية، أما في النظرية SSM فيمكن استنتاج ذلك الشكل بطريقة رياضية.

Testing the Theory (1)
Large Electron-Positron Collider (1)
Large Hadron Collider (1)

تقييم كوني¹⁴

خمس مذهب، ولم يتم قياس الكتل المطلقة للنيوترينوهات بعد، لكن البيانات الموجودة تضع لها حداً أعلى - فهي أقل من نصف في المئة من الكون. وبقية المادة جميعها تقريباً - نحو 25 في المئة من مجمل كتلة-طاقة الكون - هي مادة لا نراها، تدعى المادة الخفية، ونستنتج وجودها من آثارها التفاضلية على ما نراه. ولا نعرف بعد ما هي هذه المادة الخفية بالفعل، لكن هناك آراء جيدة معروضة، والتجارب تجري لاختبار مختلف الأفكار. [انظر: «البحث عن المادة الغامضة» **التعليم**، العددان 9/8 (2003)، ص 50]. يجب أن تكون المادة الخفية مؤلفة من جسيمات كبيرة الكتلة لأنها تشكل



تتضمن المادة المرئية محصورة في البروتونات والنيوترونات. وكل من هذين النوعين من الجسيمات يتألف من كواركات وكلوونات تدور وتلف. ومعظم كتلة البروتون أو النيوترون تأتي من طاقة حركة الكواركات والكلوونات.

تجمعات حجمها بحجم المجرة تحت تأثيرات قوة الثقالة. وهناك عدد من الميزات تجعلنا نستنتج أن المادة الخفية لا يمكن أن تكون مؤلفة من أي من جسيمات النموذج العياري المألوفة. والجسيم الأول المرشح للمادة الخفية هو القوين الفائق الأخف [LSP] الذي جرى الحديث عنه بتفصيل أكبر في النص الرئيسي لهذه المقالة. ويأتي القوين الفائق الأخف في توسعات النموذج العياري المسماة النماذج العياري الفائقة التماثل. ويعتقد أن كتلة الجسيم LSP تبلغ نحو 100 ضعف من كتلة البروتون. وكان قد تبين للمنظرين أن الجسيم LSP هو مرشح جيد للمادة الخفية قبل أن يعرف الكوسمولوجيون أنه يلزم نوع جديد من المادة الأساسية لتفسير المادة الخفية.

تفسر نظرية حقل هيكنز كيف تكتسب الجسيمات الأولية وهي أصغر لبنات الكون، كتلتها. لكن آلية ميكر ليست المصدر الوحيد للكتلة-الطاقة في الكون (تسمى «الكتلة-الطاقة» إلى كل من الكتلة والطاقة المرتبطتين بعلاقة أينشتاين $E = mc^2$). يوجد نحو 70 في المئة من الكتلة-الطاقة في الكون على شكل ما يسمى بالطاقة الخفية dark energy، والتي لا ترتبط مباشرة بالجسيمات. والمؤشر الرئيسي على وجود الطاقة الخفية هو أن تمدد الكون متسارع. وتعتبر الطبيعة الدقيقة للطاقة الخفية من أكثر المسائل العميقة التي لا تزال مفتوحة في الفيزياء.¹⁵

أما كتلة-طاقة الكون المتبقية والتي تشكل 30 في المئة فتأتي من المادة، من الجسيمات التي لها كتلة. وأكثر أنواع المادة شيوعاً هي البروتونات والنيوترونات والإلكترونات التي تشكل النجوم والكواكب والناس وكل ما نراه، وتوفر هذه الجسيمات نحو سدس مادة الكون أو نحو 4 إلى 5 في المئة من الكون كله. وكما هو مشروح في النص الرئيسي لهذه المقالة فإن معظم هذه الكتلة ينشأ عن طاقة حركة الكواركات والكلوونات الدائرية داخل البروتونات والنيوترونات. ويأتي إسهاً أصغر في مادة الكون من الجسيمات المدعومة بـنيوترينوهات، والتي تضم ثلاثة أنواع. إن للنيوترينوهات كتلة إلا أنها صغيرة إلى



توجد كتلة-طاقة الكون بصورة رئيسية في أربعة انماط غريبة: الطاقة الخفية الغامضة التي تسبب تسارع تمدد الكون، والمادة الخفية غير المرئية التي يمكن كشفها بواسطة آثارها الثقالية، والمادة المرئية والنيوترينوهات.

هيكز: فقد أجرت التجارب في المصادم LEP عدداً من القياسات الدقيقة يمكن ضمها إلى قياسات مشابهة من التيفاترون ومن المصادم في مركز المسرع الخطي في ستانفورد. ولا تتفق مجموعة البيانات جميعها اتفاقاً جيداً مع النظرية إلا إذا أدخلت تأثيرات معينة للجسيمات مع أخف بوزون من بوزونات هيكنز، وإلا إذا لم يكن هذا البوزون أثقل بنحو 200 مرة من كتلة البروتون. وهذا يوفر للباحثين حداً أعلى لكتلة بوزون هيكنز مما يساعد على تركيز البحث.

وبالنسبة إلى السنوات القليلة المقبلة فإن المصادم الوحيد الذي يمكنه أن يعطي دليلاً مباشراً على وجود بوزونات هيكنز هو التيفاترون. فطاقته تكفي لاكتشاف بوزون هيكنز في المدى الكتلي الذي حدده الدليل غير المباشر من المصادم LEP، وذلك إذا تمكن من التوصل إلى الشدة الثابتة للحزمة التي كان يتوقع له أن ينتجها، والتي لم يمكن التوصل إليها حتى الآن. ومن المخطط أن يبدأ المصادم LHC، والذي تفوق طاقته سبع مرات طاقة التيفاترون والمصمم أن تكون شدته أكبر بكثير، بإعطاء البيانات عام 2007. سيكون هذا المصادم مُصنَّعاً لبوزونات هيكنز (بمعنى أنه سوف ينتج العديد من الجسيمات كل يوم). إذا افترضنا أن المصادم LHC سيعمل كما هو مخطط له، فإن جمع البيانات ذات الصلة وتعلّم كيفية تفسيرها سيستغرق سنة أو اثنتين. أما إجراء كامل الاختبارات التي تبين بالتفصيل أن التأثيرات مع حقول هيكنز هي التي تسبب الكتلة فسوف يحتاج إلى مصادم إلكتروني-بروتوني إضافة إلى المصادم LHC (الذي يصادم البروتونات) والتيفاترون (الذي يصادم البروتونات والبروتونات المضادة).

المادة الخفية¹⁶

لن تختبر المكتشفات حول بوزونات هيكنز ما إذا كانت آلية هيكنز توفر الكتلة فحسب، وإنما سوف تشير أيضاً إلى الطريقة التي يوسع بها النموذج العياري لكي يحل مسائل

A Cosmo Stocking (*)
Dark Matter (**)

(*) [Anظر: "A Cosmic Conundrum"]
by Lawrence M. Krauss - Michael S. Turner,
[Scientific American, September 2004]

مثل منشأ المادة الخفية.

وفيما يتعلق بالمادة الخفية، فإن الجسيم الأساسي في النظرية SSM هو القرن الفائق الأخف (LSP)، lightest superpartner. ومن بين القرائن الفائقة لجسيمات النموذج العياري المعروفة والتي تنبأت بها النظرية SSM فإن القرن LSP هو الجسيم ذو الكتلة الأخفض. وتتفكك معظم القرائن الفائقة في الوقت المدين إلى قرائن فائقة ذات كتل أقل، وتنتهي سلسلة التفككات بالجسيم LSP المستقر لأنه ليس هناك جسيم أخف منه يتفكك إليه (حين يتفكك قرين فانق فإن أحد نواتج التفكك على الأقل يجب أن يكون قرينا فانقا آخر؛ ولا ينبغي أن يتفكك إلى جسيمات النموذج

ولكننا لن نتمكن من معرفة كيفية عملها بالتفصيل ما لم تكن لدينا بيانات حول القرائن الفائقة نفسها. ومن المتوقع الحصول على مثل هذه البيانات من المصادم LHC أو ربما حتى من التيفاترون.

يمكن أيضا أن تنشأ كتل نيوترينو عن تأثيرات مع حقول هيگز إضافية أو مع حقول تشبه حقول هيگز بطريقة مشوقة جدا. لقد افترض في الأصل أن النيوترينوات معدومة الكتلة، لكن منذ عام 1979 تنبأ النظريون بأن لها كتلا صغيرة، وعلى مدى العقد الماضي أثبتت عدة تجارب مثيرة للإعجاب هذه التنبؤات [انظر: «حل مشكلة النيوترينو الشمسي»¹، العددان 9/8 (2003)،

لقد رصد المصادم الإلكتروني-البوزيتروني الكبير دليلا ختارا على وجود جسيم هيگز.

ص [40]. إن كتل النيوترينوات أقل من جزء من المليون من كتلة أصغر الجسيمات كتلة وهي كتلة الإلكترون. ولما كانت النيوترينوات متعادلة كهربائيا فإن الوصف النظري لكتلتها أكثر حداقة منه بالنسبة إلى الجسيمات المشحونة. فهناك عدة عمليات تسهم في كتلة كل من أنواع النيوترينو، ولأسباب فنية فإن قيمة الكتلة الفعلية تنشأ عن حل معادلة بدلا من مجرد جمع الحدود.

وهكذا نكون قد فهمنا الطرق الثلاث التي تنشأ بوساطتها الكتلة: يأتي الشكل الرئيسي المؤلف لدينا للكتلة - كتلة البيروتونات والنيوتريونات، ومن ثم الذرات - من حركة الكواركات المرتبطة بالبيروتونات والنيوتريونات. فكتلة البيروتون تبقى هي نفسها تقريبا حتى من دون حقل هيگز. أما كتل الكواركات نفسها وكتلة الإلكترون فهي ناشئة عن حقل هيگز. وهذه الكتل يمكن أن تنتفي من دون هذا الحقل. وأخيرا، وبالتأكيد ليس أخرا، فإن معظم مقدار كتل القرائن الفائقة، ومن ثم كتلة جسيم المادة الخفية (إذا كان بالفعل هو القرن الفائق الأخف) تأتي من تأثيرات إضافية غير تأثر هيگز الأساسي. وأخيرا لننظر في أمر يعرف باسم

العياري كليا). يجب أن تكون الجسيمات القرائن الفائقة قد وجدت في وقت مبكر في الانفجار الأعظم لكنها سرعان ما تفككت إلى الجسيمات LSP. والجسيم LSP هو المرشح الرئيسي للمادة الخفية.

يمكن لبوزونات هيگز أن تؤثر مباشرة أيضا في كمية المادة الخفية في الكون. فنحن نعلم أن كمية الجسيمات LSP حاليا ينبغي أن تكون أقل من الكمية التي كانت موجودة بعد الانفجار الأعظم بقليل، لأن بعضها لا بد أن يكون قد تصادم وقتي متحولا إلى كواركات ولبيوتونات وفوتونات، وربما كانت الجسيمات LSP المتأثرة مع بوزونات هيگز هي المسيطرة على معدل الفناء.

وكما ذكرنا أنفا، فإن حقلي هيگز الأساسيين في النماذج SSM يعطيان لجسيمات النموذج العياري كتلة. كما يعطيان بعض الكتلة للقرائن الفائقة مثل LSP. وتكتسب القرائن الفائقة مزيدا من الكتلة بوساطة التأثيرات الإضافية التي يمكن أن تحدث مع حقول هيگز أخرى أو مع حقول مماثلة لحقول هيگز. ويوجد لدينا نماذج نظرية لكيفية حدوث هذه العمليات،

مسألة الأسرة (العائلة) family problem فقد بين الفيزيائيون على مدى نصف القرن الماضي أن العالم الذي نراه، من الناس إلى الأزار إلى النجوم، مبني من ستة جسيمات فقط: من ثلاثة جسيمات مادية (كواركات) علوية وكواركات سفلية والإلكترونات) ومن بوزونات «كمي قوة» (فوتونات وغلونات) ومن بوزونات هيگز - وهذا وصف رافع وبسيط لدرجة مذهلة. إلا أن هناك إضافة إلى ذلك أربع كواركات أخرى وجسيمين آخرين شبيهين بالإلكترون وثلاثة نيوترينوات. وهذا جميعها ذات عمر قصير جدا أو أنها تتأثر بالكاد مع الجسيمات الستة الأخرى. ويمكن أن تصنف في ثلاث عائلات: علوي، سفلي



نيوترينو الإلكترون، الإلكترون؛ ثم: فانز غريني، نيوترينو الميون، الميون؛ وأخيرا نروي، قعري، نيوترينو التاو، تاو. وللجسيمات في كل عائلة تأثيرات مماثلة لتلك التي للجسيمات في العائلات الأخرى. وهي تختلف فقط في أن تلك التي في العائلة الثانية تكون أثقل من تلك التي في العائلة الأولى، وتلك التي في العائلة الثالثة تكون بدورها أثقل. ونظرا لأن هذه الكتل تنشأ عن التأثير مع حقل هيگز فإنه ينبغي أن تكون للجسيمات تأثيرات مختلفة مع هذا الحقل.

وعلى هذا فإن مسألة العائلة ذات شطرين: لماذا توجد ثلاث عائلات في حين أنه يبدو أن واحدة فقط تلزم لوصف العالم الذي نراه؟ ولماذا تختلف العائلات عن بعضها بالكتلة، ولماذا لها هذه الكتل؟ ربما لا يكون جليا لماذا يدهش الفيزيائيون من أن الطبيعة تحتوي على ثلاث عائلات متماثلة تقريبا على الرغم من أن واحدة منها كافية. السبب في ذلك أننا نرغب في أن نفهم فهما كاملا قوانين الطبيعة والجسيمات والقوى الأساسية. ويتوقع أن يكون كل مظهر من مظاهر القوانين الأساسية ضروريا.

(1) two mass quanta

مختلفة. وعلى الرغم من أن نظري الأوتار لم يحلوا بعد تماما مسألة وجود ثلاث عائلات فإنه يبدو أن النظرية تمتلك البنية الصحيحة لتوفير حل. تتيج نظرية الأوتار العديد من البنى العائلية وحتى الآن لا يعرف أحد لماذا تختار الطبيعة البنية التي نرصدها دون غيرها^(١). ويمكن أن يوفر وجود بيانات عن كتل الكواركات والليبتونات وعن كتل أقاربها الفائقة دلائل مهمة تفيدنا في فهم نظرية الأوتار.

بإمكان المرء الآن أن يفهم لماذا استغرق الأمر تاريخيا كل هذا الوقت لنبدأ بفهم الكتلة. فمن دون فيزياء جسيمات النموذج العياري، ومن دون تطور نظرية الحقل الكمومية لوصف الجسيمات وتأثيراتها، لم يكن بإمكان الفيزيائيين حتى أن يصوغوا الأسئلة الصحيحة. وفي حين أن أصول الكتلة وفيما ليست بعد مفهومة تماما إلا أنه من المرجح أن الإطار اللازم لفهمها موجود. لم يكن فهم الكتلة ممكنا قبل وجود نظريات مثل النموذج العياري وامتداده الفائق التماثل ونظرية الأوتار. وليس من الواضح بعد ما إذا كانت ستوفر بالفعل الجواب الكامل. لكن الكتلة أصبحت الآن موضوع بحث روتيني في فيزياء الجسيمات.

Yang Li Ai Tager (٤)

«The String Theory Landscape» [النظر: (١) by Raphael Bousso and Joseph Polchinski; Scientific American, September 2004]

المؤلف

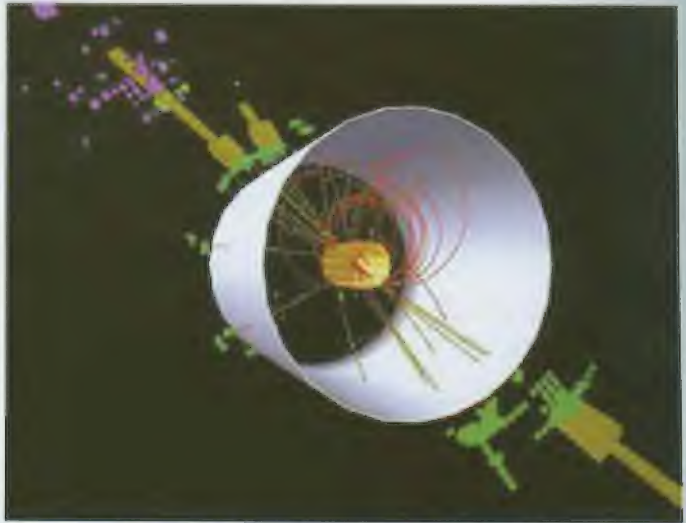
Gordon Kane

متخصص في نظرية الجسيمات، وهو أستاذ الفيزياء في جامعة ميشيغان بآن آربر. يعمل «كين» على اكتشاف طرق لاختبار النموذج العياري لفيزياء الجسيمات وتوسيعه. وبصورة خاصة يدرس فيزياء هيگز وتوسعات النموذج العياري الفائقة التماثل والكوسمولوجيا، مع التركيز على الربط بين النظرية والتجربة. وقد أكد حديثا على ضم هذه الموضوعات مع نظرية الأوتار وعلى دراسة تناقض ذلك على تجارب المسبارات.

مراجع للاستزادة

The Particle Garden, Gordon Kane. Perseus Publishing, 1996.
The Little Book of the Big Bang: A Cosmic Primer, Craig J. Hogan, Copernicus Books, 1998.
Mass without Mass II: The Medium is the Mass-age, Frank Wilczek in *Physics Today*, Vol. 53, No. 1, pages 13-14; January 2000.
Supersymmetry: Unveiling the Ultimate Laws of Nature, Gordon Kane. Perseus Publishing, 2001.
An excellent collection of particle physics Web sites is listed at particleadventure.org/particleadventure/other/othersites.html

Scientific American, July 2005



ربما يكون جسيم هيگز قد أحدث حين تصادم بوزيترون وإلكترون عاليا الطاقة في المكشاف 1.8 بالمصادم الإلكتروني البوزيتروني الكبير في المركز CERN. تمثل الخطوط مسارات الجسيمات. وتصور الطلقات الخضراء والأرجوانية والرسم البياني histogram ذو اللون الذهبي مقادير الطاقة التي توهمها الجسيمات المتناثرة من التفاعل في طبقات المكشاف، ولا يستطيع الفيزيائيون أن يستنتجوا ما إذا كانت جسيمات هيگز موجودة في بعض التفاعلات أم أن جميع البيانات كانت ناتجة من تفاعلات أخرى حدثت لتفكي إشارة هيگز، إلا بعد ضم الكثير من مثل هذه الأحداث.

حقل هيگز بين العائلات. ففي نظرية الأوتار يمكن أن توجد عائلات مكررة، ولكنها غير متطابقة. وتصف الاختلافات بينها الخصائص التي لا تؤثر في القوى الشديدة والضعيفة والكهرمغناطيسية والثقالية، وإنما تؤثر في التأثيرات مع حقول هيگز التي تتلام مع وجود ثلاث عائلات ذات كتل

فالمهدف إذا هو أن تكون لدينا نظرية تنشأ فيها جميع الجسيمات ونسب كتلتها بصورة محتومة من دون افتراضات مفترضة خصيصا حول قيم الكتل ومن دون تعديل الوسماء. فإذا كان وجود ثلاث عائلات أمرا أساسيا فإن في هذا مؤشرا لآيزال مغزاه غير مفهوم حتى الآن.

ربط الأمور جميعها معا^(١)

بإمكان النموذج العياري والنظرية SSM أن يستوعبا البنية العائلية المرصودة ولكنهما لا يستطيعان تفسيرها. وهذه إفادة قوية. ليس الأمر في أن النظرية SSM لم تفسر بعد البنية العائلية وإنما في أنها لا تستطيع ذلك. وبالنسبة إلي، فإن أكثر ما يثير في نظرية الأوتار ليس فقط أنها يمكن أن توفر لنا نظرية كمومية لجميع القوى، وإنما كذلك لأنها يمكن أن تخبرنا عن ماهية الجسيمات الأولية والسبب في وجود ثلاث عائلات. وتبدو نظرية الأوتار قادرة على معالجة مسألة لماذا تختلف التأثيرات مع

هل كانت الأرض باردة في بداية تكونها؟^(١)

قد يكون خاطئاً ما يتردد في الكتب الدراسية حول أن الأرض كانت مشبعة بالصهارة على مدى نصف البليون سنة الأولى منذ نشأتها. فربما تبرد سطحها بسرعة مما أتاح تشكّل المحيطات وطلّاع القارات ويزوغ الحياة في وقت أبكر بكثير.

<J.W. >

تتجاوز 1000 درجة سيلزية، إلا أن اقتراحاً خفّاراً^(٢) يتمثل في كون الأرض البدائية كانت ذات مناخ أكثر اعتدالاً، جاء من حسابات ثيرموديناميكية، تشير إلى أن سطح القشرة ربما تصلب خلال عشرة ملايين سنة. وأنشأ عملية تصلب الكوكب عزلت الصخور المتماسكة المتزايدة السماكة محيطه الخارجي عن داخله حيث تسود في الأعماق درجات حرارة مرتفعة. فإذا كانت الأرض قد مرت بفترات هادئة بين الاصطدامات الكبرى للنيازك، وإذا كانت قشرة الأرض قد استقرت، وإذا كان الجو البدائي الحار لم يحبس كميات كبيرة من الحرارة، فقد كان بالإمكان حينئذ أن تنخفض الحرارة السطحية بسرعة إلى ما دون درجة غليان الماء، وإضافة إلى ذلك فقد كانت الشمس البدائية باهتة وتصدر طاقة منخفضة نسبياً.

ومع ذلك، يرى معظم الجيولوجيين أن الولادة الملهية غير المشكوك فيها والمؤشرات الضئيلة في السجل الجيولوجي، تشير أن

A COOL EARLY EARTH? (٢)
Cooling Down (١٠)
gravitational (١)
fertilizing (٦)

البيئة الجحيمية استمرت على مدى 500 مليون عام، هي المعروفة باسم حقبة «الهاديان» Hadean. ويأتي الدعم الأساسي لهذا الرأي استناداً إلى الغياب الظاهري لصخور سليمة (بقيت على حالها الأصلية) intact rocks يتجاوز عمرها أربعة بلايين سنة، وكذلك استناداً إلى عمر أولى الإشارات إلى الحياة الأحفورية التي هي أحدث من ذلك بكثير. ومع ذلك، عثر الجيولوجيون - بما في ذلك مجموعتي البحثية من جامعة وسكونسين بماديسون - في السنوات الخمس الماضية على بضع عشرات من بلورات الزركون zircon القديمة التي تتميز بتراكيب كيميائية أسهمت في تغيير أرائنا عن بداية كوكب الأرض. فالخصائص غير العادية لهذه المعادن المقاومة للبيئ - وهي بحجم النقطة في هذه الجملة - تمكّن بلورات المعادن هذه من أن تحتفظ، بصورة مدهشة، بإشارات قوية عن حالة البيئة في أثناء تكونها. فهذه الكسولات الزمنية توفر أدلة على أن المحيطات التي احتضنت الحياة البدائية، وربما القارات أيضاً، ربما نشأت قبل 400 مليون عام من الزمن الذي اعتمد سابقاً.

تبرّد الأرض^(٣)

منذ القرن التاسع عشر حاول العلماء تقدير سرعة تبرّد الأرض، ولكن القليل منهم توقع أن يجد دليلاً قاطعاً. فنع أن محيطات الصهارة توهجت في البداية بدرجات حرارة

في بداية تكونها منذ 4.5 بليون سنة. تالفت الأرض وكأنتها نجم خافت وتدفقت على سطحها محيطات من الصهارة magma المتوهجة الصفراء، البرتقالية اللون، تلت تصادمات متكررة من جلايد هائلة، بعضها بحجم كوكب صغير، تدور في فلك الشمس الحديثة الولادة. وقد نجم عن تصادم كل من هذه الأجسام بكوكب الأرض، بسرعة تبلغ في المتوسط 75 مرة سرعة الصوت، حروق في سطحها - تمثلت بتحطيم وانصهار وحتى تبخر في مناطق التماس.

وفي مرحلة مبكرة غاص الحديد، بفعل كثافته العالية، من محيطات الصهارة متجهاً نحو الأعماق ليشكل اللب القلزي للأرض، ومحوراً ما يكفي من الطاقة الثقالية^(٤) لصهر الكوكب برعته. ثمّة تباين ضخم كانت تصطدم بالأرض باستمرار في أثناء مئات ملايين السنين الأولى، فجّر بعضها السطح مولداً فوهات ارتطام يتجاوز قطرها 1000 كيلومتر. وفي الوقت نفسه، ونتيجة لتخلل العناصر المشعة، تولدت حرارة بمعدلات تفوق ستة أضعاف تلك التي تولدها حالياً.

وكان لا بد من أن تخبر هذه الظروف الملهية قبل أن تتصلب الصخور المنصهرة لتشكل القشرة الأرضية، وقبل أن تتكوّن القارات، وقبل أن يتحول الغلاف الجوي الكثيف المشبع ببخار الماء إلى ماء سائل، وقبل أن تنشأ الحياة البدائية الأولى ويتمكن من البقاء. ولكن ما سرعة تبرّد سطح الأرض بعد مولدها الضيائي؟ يعتقد معظم العلماء أن



منظر جديد للأرض الفتية التي تغمرها محيطات من الماء
السائل منذ نحو 4.4 بليون سنة على نقيض حاد لعالم
جاف وعذالي حسب التصور المعتاد للمكتب الدراسة

وفي عقد الثمانينات من القرن العشرين، بدأت بلورات زركون منفردة بإضافة معلومات جديدة عن الأرض الفتية، وذلك عندما أصبحت بضع حبات نادرة من الزركون وجدت في جاك هيلز Jack Hills وماونت ناريار Mount Narryer بفريق أستراليا أقدم المواد الأرضية المعروفة حينذاك، فقد قدر عمرها بنحو 4.3 بليون

السطح محت الصخور التي تكوّنت سابقاً، كما أن أقدم الصخور المعروفة بمنشئها تحت الماء (ومن ثم في بيئة باردة نسبياً) لم تتشكل إلا منذ 3.8 بليون سنة. إن هذه الرسوبيات المكتشفة في أيسوا Isua بجنوب غرب غرينلاند، تحوي أقدم أدلة الحياة. [انظر: «تساؤلات حول أقدم علامات الحياة»، **العلوم**، العددان 3/2 (2004)، ص 4.]

إلى أن مناخاً قاتق الحرارة ساد مدة طويلة. فأقدم الصخور السليمة المعروفة التي عمرها 4 بلايين سنة، وهي الصخور المتحولة أكاسيتا Acasta في شمال غرب كندا، تشكلت عند أعماق كبيرة تحت سطح الأرض ولا تحبل معلومات عن الظروف التي كانت سائدة على السطح. ويعتقد معظم الباحثين أن الظروف الجهنمية التي سادت على

سنة. إلا أن المعلومات التي حملتها بلورات الزركون هذه بدت غامضة. ويعود ذلك جزئياً إلى عدم تأكيد الجيولوجيين من طبيعة الصخرة الأم. فإثر تكونها، تكون بلورات الزركون شديدة المقاومة لدرجة أنها تتمكن من البقاء حتى بعد تكشف صخرتها الأم على سطح الأرض ودمارها بفعل التجوية weathering والاحت erosion.

وتستطيع المياه والرياح بعد ذلك نقل الحبات التي بقيت إلى مسافات بعيدة قبل أن تندمج في راسب من الرمال والحصى gravel، والتي قد تتصلب بعد ذلك إلى صخور رسوبية. وقد عُثر فعلاً على بلورات زركون جاك هيلز - التي قد يفصلها آلاف الكيلومترات عن مصدرها - في حاجز حصوي قديم

يطلق عليه اسم رصيص جاك هيلز Jack Hills conglomerate.

وعلى الرغم من الإشارة الناجمة عن العثور على مثل هذه الأجزاء البدائية من الأرض، فإن معظم العلماء، وأنا منهم،واصلوا قبول الرأي بأن مناخ كوكبنا الفتى هو بالفعل مناخ حقبة الهاديان. واعتباراً من عام 1999 أتاح التقدم التقني إجراء دراسة إضافية لبلورات الزركون القديمة من غرب أستراليا - متحدياً الرأي التقليدي حول بداية تاريخ الأرض.

التعمق في البحث⁽¹⁾

لم تغش البلورات الأسترالية أسرارها بسهولة ويسر. وقد يرجع ذلك أولاً إلى كون جاك هيلز والمناطق المجاورة قفاراً منجزة

واقعة على حافة محيطي أغنام شاسعة تدعيان بيرينكارا Berrinbara وميلبورا Mileura. توجدان على بُعد نحو 800 كيلومتر شمال بيرث Perth، أكثر المدن الأسترالية انعزالا. جرى ترسيب رصيص جاك هيلز منذ ثلاثة بلايين سنة، وهو يشكل الحافة الشمالية الغربية لمجموعات من التكوينات الصخرية التي يتجاوز عمرها 2.6 بليون سنة. وللحصول على أقل من ملء كشتبان من بلورات الزركون، قُمّت رزملائي بجمع مئات الكيلوغرامات من الصخور من هذه المكتشفات الصخرية النائية نقلت بعدها إلى المختبر لسحقها وفحصها، وكأثنا نبحث عن حبات معينة من الرمل في الشاطئ.

وبعد استخلاص البلورات من مصدرها الصخري صار بالإمكان تحديد عمرها: لأن بلورات الزركون تشكل ضابط وقت نموذجياً، فإضافة إلى ديمومتها الطويلة تحتوي هذه البلورات على كميات ضئيلة من اليورانيوم المشع الذي يتحلل بمعدلات معروفة ليتحول إلى رصاص. فعندما يتكون الزركون في أثناء تصلب الصهارة تتحد ذرات الزركونيوم zirconium والسيليكون silicon مع الأكسجين بنسب محددة ($ZrSiO_4$) لتكوين بنية بلورية فريدة خاصة بالزركون؛ وأحياناً يتم التبادل مع اليورانيوم بمقادير ضئيلة للغاية. ومن جهة ثانية، فإن ذرات الرصاص كبيرة لدرجة لا تسمح بالتبادل بسهولة مع أي من العناصر في الشبكة البلورية، لذا فإن الزركون يكون خالياً تماماً من الرصاص عند نشأته الأولى. وتبدأ ساعة اليورانيوم-رصاص بالعمل بعد تبلور الزركون مباشرة. وهكذا،



مظهر قديم لأرض فتية حارة (مجلة Life 1952/12/8).

فإن نسبة الرصاص إلى اليورانيوم تزداد مع ازدياد عمر البلورة. ويمكن أن يحدد العلماء بثقة عمر الزركون السليم undamaged وبنه تبلغ 1 في المئة، أي بدقة تعادل 40± مليون سنة من عمر الأرض الفتية.

وقد أصبح تحديد عمر جزء معين من إحدى البلورات ممكناً للمرة الأولى في أواخر عقد الثمانينات من القرن العشرين، عندما ابتكر «W. كومبستون» وزملاؤه [من الجامعة الوطنية الأسترالية في كانبيرا] نوعاً خاصاً من المسبار الميكروي (المجهري) الأيوني microprobe، وهي آلة كبيرة للغاية تم تسميتها هزليا «شريمبي» SHRIMP، الاسم المختزل لمسبار ميكروي أيوني حساس ذي دقة عالية Sensitive High Resolution Ion Micro Probe. وعلى الرغم من أن معظم بلورات الزركون لا تكاد ترى بالعين المجردة، فإن المسبار الميكروي الأيوني المجهرى يطلق حرارة من الأيونات مركزة بصورة ضيقة للغاية، لدرجة تجعلها قادرة على قذف عدد صغير من الذرات في أي جزء تسلط عليه من سطح الزركون. ويتولى عندئذ مقياس الطيف الكتلي mass spectrometer قياس تركيب هذه الذرات بمقارنة كتلتها. وقد كانت مجموعة «كومبستون» - التي تعمل مع «A. R. بيجديون»، و«A. S. وايلد» و«D. باكستر» [وجميعهم من جامعة كيرتين التكنولوجية في أستراليا] أول من حدد عمر زركون جاك هيلز في عام 1986. إثر اطلاعي على هذا الأمر، أُجريت اتصالاً مع «وايلد» فوافق على إعادة التحريات المتعلقة بعمر زركون جاك هيلز كجزء من أطروحة دكتوراه لطلالب لدي «H. W. بليك»، وهو حالياً مدرس في جامعة كولكيت. وفي عام 1999 قام «وايلد» بتحليل 56 عينة لم يحدد عمرها بعد باستخدام جهاز شريمبي مطور، فوجد أن خمساً منها تتجاوز أعمارها أربعة بلايين سنة، ولدهشتنا الكبيرة كان عمر الأقدم منها 4.4 بليون سنة. ومن الجدير بالذكر أن لبعض العينات من القمر والمريخ أعماراً مماثلة، أما النيازك فهي غالباً ما تكون أقدم عمراً، إلا أنه لم يتم العثور على أعمار كهذه في كوكبنا (ولم يُتوقع ذلك). فبالجميع تقريباً توقعوا أنه حتى

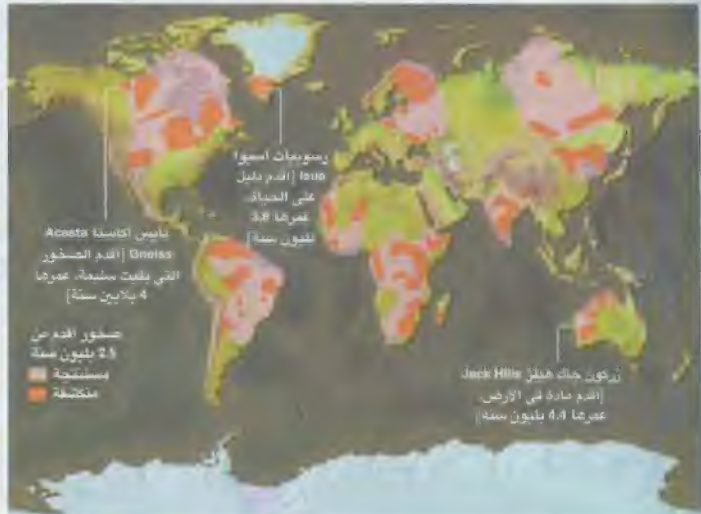
(-) Digging Deep

(++) Outwitted Zircon Time Capsules

نظرة إجمالية/ كبسولات الزركون الزمنية⁽²⁾

- اتفاما اعتقد الجيولوجيون أن الظروف المثالية لولادة كوكبنا قبل 4.5 بليون سنة حل سطحنا مناخ معتدل قبل نحو 3.8 بليون سنة.
- ويعتقد الآن أن ثمة بلورات بالغة الصغر من معدن الزركون، تحفظ بدليل واضح عن كيفية وزمن تشكلها، تشير إلى أن الأرض بردت في زمن أبكر بكثير - ربما قبل 4.4 بليون سنة.
- بل إن بعض بلورات الزركون القديمة تحمل تراكيب كيميائية موروثة من المناطق الرطبة الباردة اللازمة لنشوء الحياة.

تتلى
ولم
يتم
في
من
مئة،
مئة
بدا
مدي
ميلز
ساعة
ريت
190.
أول
من
"فون"
ساعة
شيب
ليف
سطح
من
ساعة،
فلسان
درات
Sense
علاقة
قول
ميتيها
ناصا
ساعة
أوائل
ين من
علماء
مع



صخور قديمة يزيد عمرها على 2.5 بليون سنة تنكشف أو تقع تحت التربة مباشرة في عدة مواقع حول العالم (الأحمر)، بل لعلها مخفية تحت صخور أحدث عبر مناطق أكثر اتساعاً (الوردي). وفي نهاية المطاف، يمكن - في مواقع أخرى - اكتشاف بلورات من الزركون قديمة قدم ما اكتشف في جاك فيلر غرب أستراليا.

لهذا توقعات مع "بيك" أن نجد قيمة قريبة من 5.3 لوشاح الأرض البدائي، عندما أخذنا زركون جاك هيلز، بما في ذلك العينات الخمس الأقدم، إلى جامعة أدنبرة باسكتلندة في الصيف نفسه، فهناك ساعدنا « كريفر» و« كراهام» على استخدام نوع مختلف من المسبار الميكروي الأيوني يلائم بشكل خاص قياس نسب نظائر الأكسجين. وفي العقد الماضي كنا قد عملنا معا مرارا لتحسين التقنية بحيث أصبحنا قادرين على تحليل عينات حجمها يعادل واحدا في المليون من حجم العينات التي كان بإمكاننا تحليلها في مختبري بوسكونسين. فبعد إجراء تحاليل على مدار الساعة طوال 11 يوما مع ساعات نوم محدودة (وهذه تعتبر ظروفا عادية لعملية كهذه)، أنجزنا القياسات فوجدنا أن نتائنا

0.2 في المئة من مجمل الأكسجين في الأرض) والأكسجين O^{16} (وهو النظير الشائع للأكسجين المؤلف من ثمانية بروتونات وثمانية نيوترونات ويشكل نحو 99.8 في المئة من مجمل الأكسجين). تدعى هذه الذرات الغازات المستقرة لأنها لا تخضع للتحلل الإشعاعي، ومن ثم لا تتغير تلقائياً مع مرور الزمن، بيد أن نسب O^{18} و O^{16} في المذمجة في البلورة في أثناء تشكيلها تتباين تبعاً لدرجة حرارة الوسط الذي تتشكل فيه. إن النسبة O^{18}/O^{16} معروفة بالنسبة إلى وشاح الأرض earth's mantle (غلاف سماكته 2800 كيلومتر يقع مباشرة أسفل القشرة القارية والمحيطية التي تراوح سماكتها بين خمسة و40 كيلومتراً)، وللصهارة المتكونة في الشاح نسبة تآثر الأكسجين نفسها تقريباً، ولتبسيط الأمر يقوم الجيوكيميائيون بمعايرة هذه النسب بالرجوع إلى النسبة التي نجدها في مياه البحر ويتم التعبير عنها بالرمز دلثا (δ) دقيقة O^{18} للمحيطات هي صفر

أدلة عن محيطات قديمة¹⁴⁴

يقوم الجيوكيميائيون بقياس النسبة بين الأكسجين ^{18}O وهو نظير نادر مؤلف من ثمانية بروتونات وعشرة نيوترونات وبشكل

استخلاص الأدلة^(*)

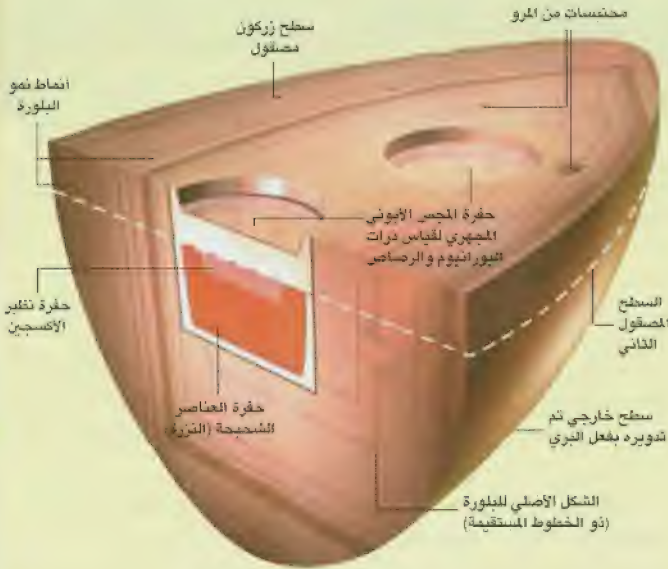
للزركون. وبكلام أبسط، فإن تواصل التحلل الإشعاعي لليورانيوم إلى رصاص يعني أنه كلما ازدادت كمية الرصاص بالنسبة إلى اليورانيوم كانت البلورة أكثر قدماً.

بعد ذلك يقوم الباحثون بجرس سطح البلورة لإظهار طبقة أكثر عمقا في البلورة، ولتكوين حفرة ثانية في مكان يطابق تماما وبديلة الموقع الأول مستخدمين لهذا الغرض المسبار الميكروي وذلك لقياس ذرات الأكسجين، أحد العناصر الثلاثة التي تكون الزركون. إن النسبة بين نظائري معينة للأكسجين - أي ذرات من الأكسجين تتميز بكتل مختلفة - تظهر ما إذا كانت البلورة قد سجلت ظروفًا حارة أو باردة.

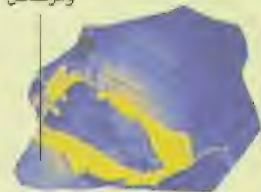
ويولد الباحثون حفرة ثالثة لقياس مقادير العناصر المشحجة (النزرة) - trace elements، وهي شوائب تشكل أقل من 1 في المئة من بنية البلورة. وبعض هذه العناصر أكثر شيوعاً في القشرة القارية.

يستخلص العلماء من بلورة منفردة من معدن الزركون شواهد عدة حول البيئة القديمة للأرض (المقطع الرئيسي في الأسفل). وهم يقومون أولاً بوضع الزركون في الإيبوكسي epoxy (نوع من الصمغ)، ومن ثم يعملون على جرس وتلميع البلورة لإظهار سطحها الأصلي.

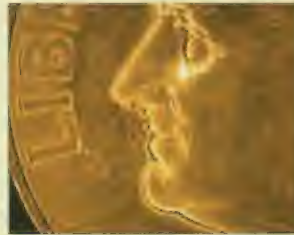
ويتم الكشف على أنماط نمو الزركون وأية شظايا صغيرة من المعادن التي تم احتواؤها أثناء نموه، باستخدام مجهر إلكتروني ماسح scanning، فعلى سبيل المثال إن أكثر المحتبسات شيوعاً في الزركون هو الجرو الذي مصدره الغرانيت، وهو نوع من الصخور التي تتميز القارات. يشكل مسبار ميكروي أيوني حفرة صغيرة بقذف الذرات على هذا السطح اللامع باستخدام حزمة مركزة من الأيونات، ثم يحدد أنواع الذرات بمقارنة كتلتها. ولتحديد عمر البلورة يقوم العلماء بقياس ذرات اليورانيوم والرصاص المحتجزة في البنية الذرية



أقدم موقع
مؤرخ بوساطة
اليورانيوم
والرصاص



الزركون الأقدم على وجه الأرض يظهر كصورة ضبابية كائودية عمرها 4.4 بليون سنة.



مشهد أكثر قرباً

الزركون الأحمر (في اليسار)، تم التقاط الصورة قرب أنف الرئيس روزفلت على أديم (عملة أمريكية قديماً 10 سنتات) من أجل تمييزا المقياس، يأتي الزركون الأحمر من عينة الصخور ذاتها التي وفرت أقدم بلورة في الأرض، وبإمكان المسبار الميكروي الأيوني، كالمجهر

المضاح في مختبر مؤلف المقالة بجامعة وسكونسين في ماديسون (في أقصى اليسار) أن يحلل نسب النظائر أو العناصر المشحجة (النزرة) في بقعة حجمها يعادل 1/15 من قطر البلورات نفسها.

فماذا إن هذا المعدن يمثل عينة من أول قارة ظهرت على كوكب الأرض. إلا أنه لابد من توخي الحذر، فالمرء يمكن أن يتشكل في المراحل الأخيرة من تبلور الصهارة حتى ولو لم تكن الصخور الأم غرانيتية، على الرغم من أن مثل هذا المرو أقل توافراً. فمثلاً، تم العثور على الزركون وبضع حبات من المرو على سطح القمر الذي لم يشهد بتاتاً تطور قشرة غرانيتية قارية. وتساؤل بعض العلماء عن إمكانية تشكل بلورات الزركون الأقدم في بيئة شبيهة ببيئة القمر الأولية، أو أنها تكونت

الخاصة في منطقة جاك هيلز. وقد أكد نتائجنا «J.S. مؤيّر» [من جامعة كولورادو] مع زملائه [من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس]، فنشرنا في عام 2001 مقالين تباعاً توضحان ذلك.

ويعد أن انتشرت اكتشافاتنا عن الزركون في المجتمع العلمي كانت الإثارة ملموسة. ففي عنف الاحترار المفرط لعالم الهاديان لا يمكن أن تسلم عينة واحدة لكي يتسنى دراستها من قبل الجيولوجيين. إلا أن بلورات الزركون هذه أشارت إلى عالم

كانت خاطئة، إذ إن قيم δO^{18} وصلت إلى 7.4. لقد صعدنا ما الذي يمكن لهذه النسب العالية لنظائر الأكسجين أن تعنيه؟ سيكون الجواب واضحاً لو كانت الصخور أحدث عمراً، وذلك بسبب توافر مثل هذه النسب في الصخور الحديثة. وثمة سيناريو نموذجي بهذا الصدد يتمثل في أن الصخور المنتشرة على سطح الأرض يمكن - تحت درجة حرارة منخفضة - أن تكتسب نسبة مرتفعة من نظائر الأكسجين إذا تأثرت كيميائياً مع مياه الأمطار أو مياه المحيطات. ومن ثم، فإن دفن هذه



إن بلورات الزركون الصغيرة الحجم، ومصدرها غرب أستراليا، لم تبج بأسرارها بسهولة.

بوسائل أخرى غير شائعة حالياً، كأن تكون ذات صلة بارتطام نيزك ضخم أو بنشاط بركاني نابع من مصدر عميق، ولكن أحداً من العلماء لم يوفر دليلاً مقنعاً.

وفي أثناء ذلك، توافرت معلومات عن القشرة القارية من العناصر الشحيحة (النزرة) (العناصر التي تتبادل في الزركون بكميات لا تتجاوز نسبتها 1 في المئة). يحتوي زركون جاك هيلز على تراكيز عالية من هذه العناصر، كما يحتوي على أنماط من عنصري اليورانيوم والسيريوم يشيع حدوثها في أثناء تبلور القشرة، مما يعني أن الزركون تكوّن قرب سطح الأرض وليس في الوشاح. إضافة إلى ذلك فإن نسب النظائر المشعة للنيوبيوم والهافنيوم - وهما عنصران يستخدمان لتوقيت الأحداث المؤدية إلى تكون القارات - تشير إلى أن مقادير ملموسة من القشرة القارية تشكلت قبل 4.4 بليون سنة.

وقد وفر توزع بلورات الزركون القديمة أدلة إضافية. إن نسبة الزركون الأكثر قدماً من أربعة بلايين سنة تزيد على 10% في بعض العينات من جاك هيلز. كما أن سطوح الزركون تشير إلى بري أو سحق abrasion بدرجة عالية وتم تدوير زوايا أوجه البلورات التي كانت حادة عند منشئها، مما يشير إلى

مألف أكثر اعتدالاً فاتاحت الوسائط اللازمة لإمالة اللثام عن أسرارها. فإذا كان مناخ الأرض بارداً لدرجة تسمح بظهور محيطات مبركة من الماء فقد ينبت الزركون باحتمال وجود القارات وغيرها أيضاً من مظاهر الأرض المعاصرة. ولتقصي ذلك تطلب الأمر أن ننظر بصورة أكثر قرباً إلى داخل كل من هذه البلورات.

فحتى أكثر بلورات الزركون صغيراً تحتوي على مواد أخرى تغلفت أثناء نمو الزركون حولها. فهذه المحتبسات inclusions في الزركون يمكن أن تكشف الكثير عن مصدر البلورات، مثلما تكشفه أنماط نمو البلورات والعناصر الشحيحة (النزرة) trace elements فيها. وعندما قمت مع «بيك» بدراسة بلورات الزركون البالغ عمره 4.4 بليون سنة، وجدنا، على سبيل المثال، أنها تحتوي على أجزاء من معادن أخرى بما في ذلك المرو quartz. وقد كان ذلك مذهشاً لأن المرو نادر الوجود في الصخور البدائية، وربما كان غير موجود في القشرة الأولية للأرض. فمعظم بلورات المرو تأتي من الصخور الغرانيتية التي أصبحت شائعة في القشرة القارية الأكثر تطوراً.

فإذا كان مصدر زركون جاك هيلز صخوراً غرانيتية، فإن هذا الدليل يؤيد فرضية

الصخور ذات النسبة العالية من δO^{18} ومصدرها يؤدي إلى تشكيل صهارة تحتفظ بهذه القيم المرتفعة التي تنتقل إلى الزركون في أثناء تبلورها. وهكذا فإن ثمة حاجة إلى توافر الماء السائل ودرجات الحرارة المنخفضة على سطح الأرض لتكوين زركونات وصهارات تنسم بقيم δO^{18} مرتفعة؛ ولا توجد عملية معروفة أخرى قادرة على تحقيق ذلك.

ويشير وجود نسب مرتفعة لنظير الأكسجين في زركون جاك هيلز إلى أن الماء السائل وجد على سطح الأرض قبل 400 مليون سنة، على أقل تقدير، من تشكل أقدم الصخور الرسوبية المعروفة، أي صخور إسيوا Isua في غرينلاند. وإذا صح ذلك، فإن محيطات برمتها ربما كانت موجودة، بحيث جعلت المناخ المبكر للأرض أشبه بالسونا sauna منه بكرة نار الهاديان.

أدلة قارية¹⁷

هل يمكننا في الواقع أن نعتد نتائج بعيدة المدى كهذه حول تاريخ الأرض استناداً إلى بضع بلورات بالغة الصغر؟ لقد أرجأنا نشر النتائج لأكثر من سنة لكي نتحقق مرة ثانية من تحاليلنا. وفي غضون ذلك، كانت مجموعات أخرى تجري أبحاثها

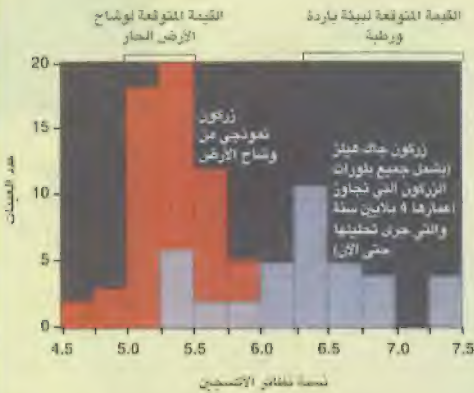
حكايات تروى^١

والعديد منها، الذي يؤدي دور ضابطة للزمن، يحمل أيضا علامات كيميائية واضحة تشير إلى أن محيطات من الماء السائل، وحتى قارات، وجدت على سطح الأرض في زمن كان يعتقد سابقا أنه سطح ملتهب ومصحور.

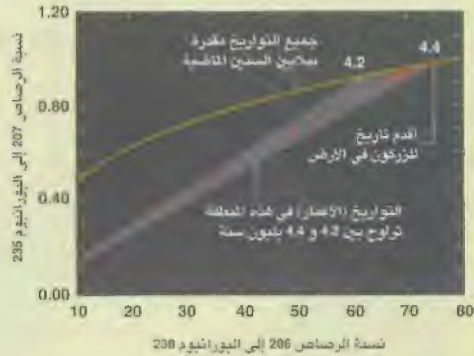
غيرت بلورات زركون جاك هيلز من غرب استراليا نمط تفكير العلماء عن تاريخ الأرض. فهذه البلورات تمثل أقدم مادة أرضية تم اكتشافها حتى الآن. فمسلات البلورات التي تم تعريتها تشكلت قبل أربعة بلايين سنة.

محيطات باردة

إن نسب نظائر الأكسجين في عينات من زركون جاك هيلز (الأزرق) التي تصل إلى 7.5 يمكن أن تتحقق فقط إذا كانت صخور مصدرها قد تشكلت في بيئة باردة غنية نسبيا بالمياه قرب سطح الأرض. فإذا حدث أن غمرت محيطات الصحارة الكوكب أثناء تشكل الزركون فإن قيمها ستجتمع بالقرب من 5.3. مثلما تتجمع نسب جميع البلورات الآتية من صخور حارة منشؤها عميق في قلب كوكب الأرض (الأحمر).



عمر قديم
إن العمر الأقدم لزركون جاك هيلز - 4.4 بليون سنة (الأحمر) - متطابق تماما مع «ساعتين» clocks جيولوجيتين - زوجين من النظائر - هما اليورانيوم 235-الرصاص 207 (المحور الشاقولي) واليورانيوم 238-الرصاص 206 (المحور الأفقي) - اللذان يشكلان ضابطتين مشعيتين للزمن تبدآن العمل عندما يتكون الزركون. فإذا حُفَلتا جيدا، فإن النسب النهائية لهما تتمثل بخط وحيد (الأصفر). أما تواريخ أجزاء أخرى من الزركون (الوردي) فإنها تقع خارج هذا الخط، ويعود ذلك إلى فقدان بعض الرصاص في هذه المناطق. بيد أن العلماء يمكن أن يصححوا هذا الخطأ.



القارات الأولى^٢

إن السطوح المدورة لبعض بلورات زركون جاك هيلز تظهر تحت المجهر الإلكتروني الماسح أن الرياح، وربما المياه الجارية، قارعت هذه البلورات لمسافات طويلة - ربما عبر قارة كبيرة من الأرض اليابسة - قبل توصعها في أمكنتها (في اليسار). فالزركون الذي تجده قرب مصدره يحتفظ بحافات حادة (أقصى اليسار). إن العدد الكبير من بلورات جاك هيلز المستديرة الحافات يشير إلى انتشار واسع للصخور التي كانت تشكل مصدرها الأصلي.



أمر مثير لأننا قد نتعلم الكثير من صخور بقيت سليمة منتشي إلى ذلك الزمن القديم. إضافة إلى ذلك، فإن توزيع أعمار بلورات الزركون القديمة ليس منتظما، فهناك تجمع لأعمار متقاربة في فترات زمنية محددة، ولم يعثر على الزركون في أحقاب أخرى. حصل أحد طلابي في الدراسات العليا سابقا وهو «T. A. K. كافوسكي» [يعمل حاليا مدرسا في The Times They Tell (-)]

النوع القاري سمكية ومستقرة لكي يتسنى الحفاطة على هذه البلورات؟ تظهر هذه النتائج أن بلورات الزركون كانت منتشرة بكثرة في زمن ما، وأن مصدرها منطقة واسعة الامتداد، ربما كتلة قارية. فإذا كان الأمر كذلك، فهناك احتمال كبير بأن صخورا من ذلك الزمن الموهل في القدم مازالت موجودة في وقتنا هذا، وهو

نقلها بالرياح مسافات بعيدة عن صخور مصدرها. كيف يمكن إذا أن تنتقل بلورات الزركون مئات أو آلاف الكيلومترات كغبار تذروه الرياح وتبقى مع ذلك مركزة ومجمعة مع بعضها بعضا ما لم تكن في الأصل متوافرة بكميات كبيرة؟ وكيف يمكن لبلورات الزركون هذه أن تسلم من الدفن والانصهار في الوشاح الحار ما لم تتوافر قشرة من

أقدم من 4.1 بليون سنة من خارج أستراليا. وقد أدى اكتشاف البحث إلى تحسين الثقة. فقد قدم «كافوسي» نتائج تظهر مزيداً من الدقة بتحليل أكثر من 20 بلورة من زركون جاك هيلز تتميز بأحواثها على نسب مرتفعة من نظائر الأكسجين التي تشير إلى درجات حرارة منخفضة (برودة) على سطح الأرض وسحابتها قديمة يرجع عمرها إلى 4.2 بليون سنة.

قد تمثل بلورات زركون جاك هيلز عينات من أول قارة ظهرت في العالم.

وما زلت مع زملائي نتابع البحث باستخدام النموذج الأول من الجيل الأحدث للمسبار الميكروبي الأيوني الذي يدعى CAMECA IMS 1280 والذي تم تركيبه في مختبري في الشهر 2005/3. وستتم الإجابة عن العديد من الأسئلة إذا أمكن تعريف الصخور الأصلية التي تشكل فيها الزركون. وحتى لو لم نجدها قط، فإن بإمكاننا أن نتعلم الكثير من كبسولات الزركون البالغة الصغر.

Zircons Are Forever (١٦)

المؤلف

John W. Valley

حصل على الدكتوراه عام 1980 من جامعة ميتشيجان في إن آربر حيث أظهر اهتماماً للمرة الأولى بالأرض المبكرة. وابتداءً من تلك التاريخ قام مع طلبته بتحري سجل الصخور القديمة في مختلف أرجاء أمريكا الشمالية وغرب أستراليا وغرينلاند واسكتلندا. يشغل حالياً منصب رئيس الجمعية الأمريكية لعلم المعادن، وكرسي R.C. فان ميز للجيولوجيا في جامعة ويسكونسن، حيث أنشأ المختبر WiscSIMS. والإمكانات المتميزة للمسبار الميكروبي الأيوني الجديد CAMECA IMS 1280 المتوفرة في هذا المختبر ستتيح إجراء عدد كبير من الأبحاث. خالى جانب الزركون، سيسير «فالي» وزملاؤه العديد من المواد النادرة أو البالغة الصغر ابتداءً من غبار النجوم وانتهاءً بالخلايا السرطانية.

مراجع للاستزادة

A Cool Early Earth. John W. Valley, William H. Peck, Elizabeth M. King and Simon A. Wilde in *Geology*, Vol. 30, No. 4, pages 351-354; April 2002.
Magmatic $\delta^{18}O$ in 4400-3900 Ma Detrital Zircons: A Record of the Alteration and Recycling of Crust in the Early Archean. Aaron J. Cavosie, John W. Valley, Simon A. Wilde and the Edinburgh Ion Microprobe Facility in *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 235, No. 3, pages 663-681; July 15, 2005.

The author's "Zircons Are Forever" Web site is at www.geology.wisc.edu/zircon/zircon_home.html

Scientific American, October 2005

جاسعة بورتوريكو]. على دليل مماثل في بلورات منطقة zoned من الزركون، حيث تشكلت النواة قبل 4.3 بليون سنة في حين تمت نطق حولها في زمن لاحق يمتد بين 3.3 و 3.7 بليون سنة. ومن المتوقع أن يتناقص عمر بلورة الزركون من النواة إلى الحافة لأن بلورات الزركون تنمو على نحو متراكز concentric بإضافة المادة إلى محيط حياتها. بيد أن الفرق الكبيرة في العمر ووجود فجوات زمنية



بين النوى والحافات لبلورات الزركون هذه تشير إلى وقوع حادثتين متميزتين يفصل بينهما ثغرة رئيسية. أما بالنسبة إلى بلورات الزركون الأكثر توافراً والأحدث عمراً، فإن هذه العلاقة الزمنية بين النواة والغلاف ترجع إلى عمليات تكتونية أدت إلى صهر القشرة القارية وإعادة تدوير الزركون في القشرة. ويحاول العديد من العلماء اختراق ما إذا كانت بلورات زركون جاك هيلز القديمة قد تشكلت في ظروف مماثلة.

وأحدث ما استجد في هذا المجال تقرير R. D. واثسون- [من معهد رنسيلاير بوليتكنيك] و M. T. هاريسون- [من جامعة أستراليا الوطنية] عن وجود تراكيز من التيتانيوم أقل من المتوقع في بلورات الزركون القديمة، مما يدل على أن درجة حرارة الصهارة التي تشكلت فيها راوحت بين 650 و 800 درجة سيلزية. ومثل هذه الدرجات المنخفضة لا تتوافق إلا إذا كانت الصخور الأم غرانيتية، لأن معظم الصخور غير الغرانيتية تنصهر في درجات حرارة أكثر ارتفاعاً. ومن ثم فإن الزركون الذي ينتهي إليها لا بد أن يحتوي على نسب أعلى من التيتانيوم.

الزركون للأبد

منذ قيامي مع زملائي بتحليل نسب نظائر الأكسجين في بلورات زركون جاك هيلز



تقرير خاص مستقبل الخلايا الجذعية

محتويات التقرير

29 رسالة من المحررين

30 «أم الخلايا» كافة

يأمل العلماء تحقيق فوائد ضخمة من سيل الأبحاث على الخلايا الجذعية الجنينية، ولكن قد ينقضي جيل بكامله قبل أن تصبح الفائدة ملموسة. <C. كوكسون>

32 الخيمرات البشرية - الحيوانات

<A. ريتي>

34 ملوثة ومافئة، ولكن مصادق عليها أمريكياً

<C. سورز>

35 القرنية الاستنساخية

<C. كوكسون>

36 عمال التصليح من داخل الجسم

قد تنجو الخلايا البالغة من الجدل الأخلاقي الذي يدور حول الخلايا الجذعية الجنينية، بيد أن أهميتها السريرية العقلية مازالت شديدة الغموض. <C. سورز>

38 أياها المريض، أشف نفسك

39 إنتاج خلايا جذعية عند الطلب

40 خليط من القوانين

بندر الإجماع في الرأي بين مختلف البلدان حول نوع الممارسة التي يجب أن يسمح بها فيما يتعلق بالمعالجة القائمة على الخلايا الجذعية. وذلك على الرغم من المحاولات العديدة للوصول إلى اتفاق في هذا الشأن.

41 موقع المواجهة القادمة: قاعة المحكمة

<P. والدماي>

42 الهندسة إلى جانب الأخلاق

<G. ستينس>

44 عدد كبير من مقاربات الخلايا الجذعية

<S. بيردسلي>

46 الخلايا الجذعية شرقاً ... وغرباً

اوجدت الصين والمملكة المتحدة ظروفًا تنظيمية وأخلاقية واعدة عموماً، مقترنة بأسس بحثية متينة <C. كوكسون>

48 مناورة كاليفورنيا

أطلقت ولاية كاليفورنيا رهانا قيمته ثلاثة بلايين دولار على علم الخلايا الجذعية، لكن بعض البيولوجيين قلقون من أن قد المبادرة قد تشمتل الجهود. <W. W. كير>

50 العلميون يتبعون المال

51 شبح «لابسينكو»

تحذير من تكاليف القيود اللاعقلانية. <A. ويسمان>

52 تزايد معاناة صناعة جديدة

تتابع شركات الخلايا الجذعية الناشئة القيام بأكثر الأبحاث تقدماً مع قلقها الدائم حول التمويل، الذي يحاذي على بقائها.

52 الشركة ES Cell International

شركة ملوحة في سنغافورا تحقق «موجودة مميزة». <A. بيرمان>

52 الشركة Geron

كانت مرموقة في مجال براءات الاختراع، ولكنها تهتم حالياً بإنتاج معالجات جديدة. <V. كريفيك>

53 الشركة Stem Cell Sciences

خلال عقد من الزمن صارت هذه الشركة على المستوى العالمي الأقوى في مجال الخلايا الجذعية، بعد أن كانت مجرد «شركة افتراضية». <C. كوكسون>

54 الشركة Advanced Cell Technology Holdings

تستمر في تسجيل حضور يفوق وزنها، بعد أن استأثرت معركة سياسية حول الاستنساخ العلاجي البشري. <V. كريفيك>

55 خلية عصبية على المستثمرين

إن المضاربين VC's حذرون من أن يستثمروا في شركات قد لا تضمن مخاطر العلم فيها موداً مجزياً باستمرار. <N. موران>

57 البحث عن خلايا شافية

يدعو مستنسخ النعجة «دولي» المجتمع إلى تجاوز الجدل حول اشتقاق خلايا جذعية من الأجنة البشرية تحقيقاً للفائدة المترتبة من ذلك. <N. ويليامز>

رسالة من المحررين

المناقشات فيما إذا كانت حقوق الجنين جزءاً لا يتجزأ من حقوق الإنسان، ومتى يكون ذلك. لقد ألهمت هذه المناقشات تفكير القائلين، وأنتجت خدمات جديدة للمستهلكين: فالآباء المتوقعون يتلقون حالياً على نحو روتيني دعوات تناشدهم أن يجمدوا الخلايا الجذعية الموجودة في دم الحبل السري لولدانهم، كحيلة لأي احتياجات طبية مستقبلية.

هذه الممارسات كشفت للرأي العام كم كان محبطاً غياب الإشراف وفقدان التوجيه الأخلاقي طوال سنوات عديدة، لبعض الممارسات في عيادات الإخصاب. لقد استثارت هذه الممارسات تمرداً مالياً - له الطبيعة الرديئة نفسها - بين الولايات الأمريكية ضد التقييدات على التمويل الفدرالي للأبحاث. كما أوجت هذه الممارسات بأشكال جديدة من الاحتيال: غداً المرضى في روسيا ضحايا لبيوتات تجارية تعدهم بأن «حُقِّنْ خلاياهم الجذعية» قد تعالج أنواعاً عديدة من العلل. وبطبيعة الحال، فلقد ولدت هذه الممارسات تخمينات كثيرة حول مدى تعدد استعمال الأنماط المختلفة للخلايا الجذعية، وما يمكن لذلك أن يتنبأه بالقدرات الكامنة لئُسْجَنَ جميعها.

وعملياً، لم يتم التوصل إلى حل نهائي لأي مسألة ارتبطت بالخلايا الجذعية. وعوضاً عن طرح أجوبة نهائية لا ليس فيها، فإن على هذا التقرير أن يؤدي دور مرجع مختصر لأكثر الأسئلة أهمية والتي يجب إيجاد إجابات لها في السنوات القادمة. وستستمر كل من الفايينشال تايمز وساينتفيك أمريكان بتقديم تغطية من الطراز الأول للتطور المتنامي لهذا الموضوع، بما في ذلك - كما نأمل - الأخبار النهائية بأن الخلايا الجذعية قد ترسخت كمصدر ثابت يعول عليه في المعالجات العملية والفرص المالية.

في العالم كله كما في الولايات المتحدة، انتقلت الخلايا الجذعية من مادة بيولوجية غامضة إلى الواجهة في الجدل السياسي والتّقاني. وبالباحثون واثقون من أن الخلايا الجذعية ستشكل في يوم ما، حجر الأساس لمعالجات وأدوية خيالية. بيد أن الناقدین يحاولون البرهنة على أن أبحاث الخلايا الجذعية تطرح أسئلة أخلاقية، ليس أقل عمقاً مما طرحته مساعي تطوير القنبلة النووية قبل ستين عاماً.

إن تعقيدات العلم وتزايد المشكلات التجارية والأخلاقية والسياسية، يشكلان تحدياً أمام كل من يرغب في أن يظل باستمرار على معرفة تامة بهذا الموضوع الحيوي. ولهذا السبب، فإننا نعتقد أن الخلايا الجذعية تشكل مناسبة مثالية لنشر تتشارك فيه صحيفة الفايينشال تايمز (FT) وساينتفيك أمريكان.

ويستمد هذا التقرير الخاص أصالته من قوة الصحيفة FT في الأعمال التجارية العالمية ومن تقاريرها السياسية، التي تكمل تباها تجربة ساينتفيك أمريكان الطويلة في جعل المناقشات العلمية واضحة وموثوقة.

ويسهل عادة نسيان أن أبحاث الخلايا حديثة العهد نسبياً. ففي عام 1998 فقط، عين العلماء لأول مرة هوية الخلايا الجذعية لجنين الإنسان وقاموا بعزلها. أما اليوم، فإن أبحاث الخلايا الجذعية مهدت السبيل إلى فرص أمام بلدان تتطلع إلى إنهاء الدور القيادي للولايات المتحدة في التقنية الحيوية. لقد أوجع موضوع الخلايا الجذعية من جديد



<A>، ريني

رئيس التحرير
ساينتفيك أمريكان
www.sciam.com

<A>، باربر

مدير التحرير
فاينشال تايمز
www.ft.com

أم الخلايا كافة

يتوقع العلماء فوائدها جمة للجنس البشري من سبل الأبحاث على الخلايا الجذعية الجنينية؛ ولكن الأمر قد يحتاج إلى جيل أو جيلين قبل أن يصبح التأثير ملموساً.

التصليح من داخل الجسم»، في هذا التقرير الخاص]. وتعتبر الأجنة القنبية embryonic stem cells من حيث إمكاناتها مصدراً أفضل، ذلك أن خلاياها جميعها مازالت غير متخصصة. والخلايا الجذعية الجنينية (وتختصر إجمالاً بالخلايا ES) متعددة الإمكان pluripotent: أي أن بوسعها أن تتمايز إلى أي نمط خلوي تقريباً.

لقد أنشئ أول خط خلوي (جمهرة من الخلايا الثابتة المتكررة - المتسخة) من الخلايا ES البشرية في عام 1998، من قبل «تومسون» [من جامعة ويسكونسن] وتشتمل التقنية على استخراج الخلايا من داخل جنين عمره أسبوع (أو ما يعرف بالأكيسة الأريمية blastocyst) - كرة مجهرية تتألف من 50 إلى 100 خلية وزرعها في طبق مخبري مع مغذيات وعوامل نمو مختلفة وتُعطى الأجنة في الحالة السوية من قبل أزواج يخضعون لمعالجة الإخصاب في المختبر in vitro fertilization (اختصاراً IVF)، وإلا فسُتُهمل.

حتى الآن، وبعد سبع سنوات من العمل المكثف العالمي النطاق، يمتلك العالم أقل من 150 خطاً جيدة التوصيف من الخلايا ES. ذلك أن سيولة ترسيخ هذه الخلايا هو أمر عويص جداً. فاثنتان وعشرون خطاً فقط متاحة في الولايات المتحدة للأبحاث الممولة فدرالياً، حيث إن إدارة «يو إس» قضت بأن على معاهد الصحة الوطنية (NIH) ألا تقبل أبحاثاً على خطوط أنشئت بعد الشهر 8/2001. وما إن يتم ترسيخ الخط، فإن خلاياه الجذعية تكون جوهرياً خالدة ويمكن عندئذ تجميده للتخزين في بنك الخلايا، كالبك الذي تم تأسيسه في عام 2004 بالملكية المتحدة، وايضاً للتوزيع على بقية الباحثين.

وفي محاولة لتجنب الاعتراضات الأخلاقية المتعلقة بتدمير الأجنة البشرية (MOTHER OF ALL CELLS يرمي «من أم المارك» (التحرير)

الولايات كي تتعهد ببلاتين الدولارات من المواد المالية العامة لهذا النوع من الأبحاث. وبداً ذي بدء، لا بد إذاً من طرح تعاريف أساسية. فالخلايا الجذعية تؤدي دور جهاز تصليح بيولوجي، مع إمكان أن تتنامى في الجسم إلى أنماط كثيرة من الخلايا المتخصصة: إذ يمكنها نظرياً أن تنقسم إلى ما لانهاية كي تسد النقص في خلايا أخرى. فعندما تنقسم خلية جذعية ما، يمكن لكل من الخليتين الابنتين أن تبقى خلية جذعية، أو أن تتخار دوراً أكثر تخصصاً، كخلية عضلية مثلاً أو دموية أو دماغية. وهذا منوط بوجود أو غياب إشارة كيميائية حيوية. إن ضبط هذه السيرة التمايزية يمثل واحداً من التحديات الأكثر تعقيداً في

إن إنتاج خطوط من الخلايا الجذعية الجنينية أمر صعب، فقد بلغت حصيلة سبعة أعوام من العمل الشاق أقل من 150 خطاً خلويًا.

أبحاث الخلايا الجذعية.

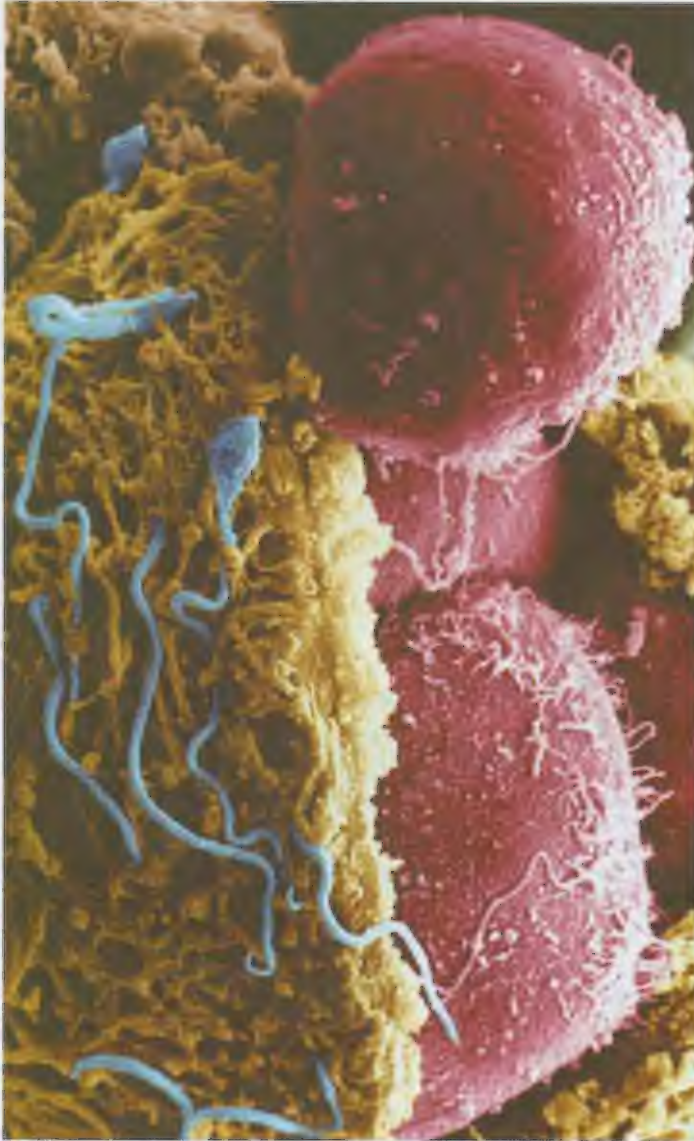
لا جديد عن الخلايا الجذعية بعد ذاتها. لقد استعملت المعالجات بالخلايا الجذعية لعقود من الزمن. وأفضل مثال معروف هو اغتراس نقي العظام لمعالجة ابيضاض الدم واضطرابات دموية أخرى. لقد نجحت هذه المعالجات، ذلك أن النقي ملئ بالخلايا الجذعية الدموية. ولكن المعالجات كافة التي تمت حتى الآن، غالباً ما استعمل فيها ما يطلق عليه اسم الخلايا الجذعية البالغة، وهذا مصطلح صحيح عندما يكون المصدر فعلاً هو البالغ، ومضلل كما يحدث غالباً، عندما تأتي الخلايا من الرضيع أو من الجنين. وقد يكون تعبیر خلايا جذعية جسمية somatic stem cells اسماً أفضل لهذه الخلايا.

إن عدد أنواع الخلايا المتخصصة، التي يمكن الحصول عليها من الخلايا الجذعية الجسمية محدود. وبشكل حالي مدي المحدودية موضوعاً لجدل علمي حاد سيُعالج في مقالة تالية [انظر: «عمال

كانت أواخر التسعينات الفترة الأكثر إنتاجية في تاريخ الأبحاث البيولوجية. فبعد تبع بسرعة ولادة دولي، أول شدي مستنسخ، والأشتقاق الناجح للخلايا الجذعية الجنينية البشرية. وحينئذ، وعندما أطل فجر الألفية الجديدة، أعلن عن إتمام مشروع الجينوم البشري. ومنذئذ ضخم الإعلام هذه الإنجازات، وتزامن ذلك مع حماسة وتشجيع كثير من الباحثين ذوي السلطة لخلق إثارة شعبية شديدة بشأن عصر جديد من الطب التجديدي regenerative medicine. ويتصور بعض الناس أنه في غضون سنوات قليلة، سيكون بالإمكان عبر تشارك مازال مبهما بين الخلايا الجذعية والاستنساخ والهندسة الجينية -

تكوين خلايا جديدة، وأخيراً أعضاء بأكملها، لتحل محل تلك التي كُتف عن أداء وظائفها بسبب المرض أو حادث مفاجئ أو الشيخوخة. وتوازنت هذه الوعود باعتراضات أخلاقية ودينية على أبحاث الخلايا الجذعية، وبخاصة على فكرة إمكان تكوين أجنة خصيصاً للبحث العلمي ثم إتلافها. وكذلك المخاوف من أن الاستنساخ العلاجي قد يفتح الباب على مصراعيه أمام الاستنساخ التوالدي.

وفيما يتعلق بكثير من الناس، فإن مجرد عبارة «الخلايا الجذعية» تلخص كل الإثارة والمخاوف. بيد أن هناك جهلاً واسع الانتشار بشأن حقيقة الخلايا الجذعية، إضافة إلى التفكير المبني على التمني لا على الحقيقة والواقع بشأن السرعة التي يمكن أن يتم فيها إحراز ما تعد به هذه الخلايا. إن القصد من وراء هذا التقرير إلقاء ضوء علمي على مستقبل أبحاث الخلايا الجذعية، وعلى المسائل السياسية المرتبطة بهذه الأبحاث، التي تدفع حالياً بالحكومة الفدرالية وحكومات



تنبثق ملائع الخلايا الجذعية الجنينية (الأخضر) من داخل جنين بشري عمره أربعة أيام حيث انشلت طوليا الغلالة البروتينية وبرزت الخلايا. وغندقت يمكن جني الخلايا وزرعها لتفتش الخلايا الجذعية الجنينية.

الخاصة بالأبحاث، يستكشف بعض العلماء مصادر بديلة للخلايا ES. وقد تتمثل إحدى المقاربات بتعرف الخلايا الجذعية الجسدية (البالغة) الأقل تمايزاً، وتدمير ساعة تناميها إلى الوراء بحيث تسلك سلوك الخلايا ES المتعددة الإمكان، والمقاربة الأخرى عبر التوالد البكري parthenogenesis، الذي يتمثل بتفعيل البويضة البشرية غير المخصبة، بحيث تباشر الانقسام كجنين بشري مبكر. ولكن ليس من الواضح بعد فيما إذا كانت أي المقاربتين ستنجح.

وحتى عهد قريب جداً، نمت الباحثون الخلايا ES البشرية على طبقة من خلايا جلد الفأر، تعرف بالخلايا المُغذية feeder cells، التي تثبط تمايز الخلايا الجذعية إلى خلايا أكثر تخصصاً. وكان الباحثون يغذونها أيضاً بمصل الدم المشتق من أجنة البقر، ولكن مما يؤسف له أن هذه المكونات اللائشورية تحمل في طبيعتها خطر التلوث بـبروتينات أو ممرضات حيوانية، تماماً كما هي الحال في الإغتراس الغريب xenotransplantation، الأمر الذي يحول دون استعمال الخلايا الجذعية في العيادة استعمالاً آمناً.

وفي عام (2005)، أعلنت عدة مجموعات بحثية أنها استعاضت بنجاح عن المكونات الحيوانية بمكونات بشرية، ولكن بعض العلماء عازال يؤكد أن تلوث الأوساط النوعية المستعملة في إنماء الخلايا ES وتمايزها، على درجة من الانتشار بحيث يصعب التخلص منه كلياً [انظر الإطار في الصفحة 35].

وخلافاً للخلايا الجذعية الجسدية (البالغة)، فإنه لا يمكن استعمال الخلايا ES مباشرة للعلاج، لأنها تسبب السرطان. وبالعقل، فإن أحد الاختبارات المخبرية للخلايا ES يتمثل بحقتها في الفأر، ومن ثم تحليل الورم المسخي teratoma (ورم يتشكل من الخلايا الجنينية) الذي ينشأ. وبناءً على ذلك، فإن أي تطبيق علاجي سيتطلب من العلماء توجيه تمايز الخلايا ES إلى خلايا ذات تخصص نوعي لاغتراسها في المرضى - مثلاً إلى الخلايا بيتا المنتجة للإنسولين لمرضى الداء السكري، أو إلى العصبونات المنتجة للدوبامين لعلاج داء باركنسون. وستتطلب الأمر مسحا شديداً للدقة للتأكد من

إضافة إلى ذلك فإن التجارب على الخلايا ES الفأرية توحي بأنه من الممكن تطوير معالجات آمنة وفعالة من الخلايا البشرية المماثلة، ويبدل الباحثون في العالم كله جهوداً حثيثة لبلوغ هذه الغاية، ذلك أن المعالجات القائمة على الخلايا الجذعية تعدّ بالكثير. ويعتقد البيولوجيون أن معظم الأمراض التنكسية على درجة من التعقيد

عدم وجود أي من الخلايا ES. وإذا كان ترسيخ خطوط الخلايا ES عويصاً، فإن توجيه تمايزها بشكل كابوسا علمياً، ولقد بدأ الباحثون يفهمون للتو فقط الشروط البيئية وتضاميات^(١) عوامل النمو والبروتينات الأخرى، التي تتطلبها توجيه الخلايا ES البشرية، بحيث تصبح خلايا متخصصة عصبية أو عضلية أو أي نمط آخر تتطلبه المعالجة

communications (١١)

الخيّمات البشرية - الحيوانات

يمكن لبعض التجارب أن تطمس على نحو مقلق الحاجز الذي يفصل بين الأنواع.

ولقد أصبح علم الخلايا الجذعية ردي. السمعة لأن أجبر المجتمع على إعادة النظر حول أين عليه أن يضع الحاجز الفاصل ما بين الخلايا الجنينية البشرية. وبين الكائن البشري. وما هو أقل وضوحاً أن هذا العلم ينفذنا إلى حدود أخرى. قد تكون مبهمة على نحو مدهش. تلك الحدود التي تفصل بين البشر والحيوانات. وتيسر الخلايا الجذعية إنتاج خيّمات متطورة بين الأنواع: كائنات حية تتألف من خلايا بشرية وحيوانية. ويسكن للمسائل الأخلاقية التي يطرحها مجرد وجود هذه المخلوقات أن تصبح عقلة على نحو خطير.

والخيّمرة، في الأسطورة اليونانية، هي مسخ يضم أجزاء من المزة والأنس والأفعى. ويمكن للخيّمات المتوالدة في المختبرات أن تبدو، بسبب هذه السمية⁽¹⁾، وكأنها فكرة شريرة وأدت من غطرسة علمية محضة. ومع ذلك، فإن إنشاء هذه الخيّمات يبدو محتوماً إذا كان لابد من استعمال الخلايا الجذعية كمواد علاجية. وسيتحتاج الباحثون إلى دراسة كيف ستسلك الخلايا الجذعية داخل الجسم، وكيف ستستجيب للكيماويات المختلفة. وما لم يقدّم الباحثون بأجراء هذه التجارب الأولية الخطرة على الإنسان، فإنهم سيحتاجون إلى حرية التجريب على حيوانات تحوي خلايا بشرية وبذلك لابد من تكوين الخيّمات.

لقد كان «ايزمان» وزملاؤه [في جامعة ستانفورد] رواد التجارب الخيّمرة عندما كانوا في عام 1988 متزاناً أجهزةًها المناعية بشرية كلياً، وذلك بغرض دراسة الإيدز. وفيما بعد اقترس فريق ستانفورد وآخرون خلايا جذعية بشرية في أدمغة فئران وليدة كنماذج أولية للأبحاث العصبية.

ولا تتوافق حالياً معايير عالية لتوجيه التجارب الخيّمرة. لقد حرم القانون الكندي الخاص بالتوالد البشري المساعد (Assisted Human reproduction Act) الخيّمات البشرية - الحيوانات. ولا يوجد في الولايات المتحدة أي تقييد رسمي بهذا الشأن. لكن السيناتور «د. براونيك» [عن كنساس] اقترح في الشهر 2005/3 تشريعاً يحرم حماية القانون لعدة أنواع من الخيّمات. بما في ذلك ما يحترق منها على كمية مهمة من النسيج الضام البشري. ووضعت المعاهد التي تزود المختبرات الأخرى بالخلايا الجذعية البشرية، قيوداً إضافية خاصة بها. وذلك فيما يتعلق بالتجارب المسموح بها.

ويمكن، في الولايات المتحدة على الأقل، أن يثبت أن اتفاق أكبر من الدليل العام حول استعمال الخلايا الجذعية، الذي أوصت به في أواخر الشهر 2005/4 الأكاديمية الوطنية للعلوم (NAS). لقد أوصت هذه الأكاديمية بالسماح عموماً بالخيّمات التي تنشق من معظم الأنواع الحيوانية، ولكنها حثت على

تعزيز أي استعمال للخلايا البشرية في الرئيسات الأخرى. وكذلك إنخال الخلايا الحيوانية في الكيسة الأريمية البشرية⁽²⁾. وحذرت أيضاً من السماح بتوالد الخيّمات البشرية الحيوانية، ذلك أن بعض الخلايا البشرية قد أفلحت في التسلل إلى خصية الحيوان ومبعضه. ويمكن نظرياً لاستيلاء هذه

الحيوانات الخيّمرة أن يؤدي إلى النتيجة الرهيبة (التي ستكون بالتأكيد ممتعة في معظم الحالات) المنتجة بإنشاء جنين بشري في رحم أم من الحيوانات.

في معظم الحالات، جنين بشري في رحم أم من الحيوانات.

في معظم الحالات، جنين بشري في رحم أم من الحيوانات.

في معظم الحالات، جنين بشري في رحم أم من الحيوانات.

لقد أصبح علم الخلايا الجذعية ردي. السمعة لأن أجبر المجتمع على إعادة النظر حول أين عليه أن يضع الحاجز الفاصل ما بين الخلايا الجنينية البشرية. وبين الكائن البشري. وما هو أقل وضوحاً أن هذا العلم ينفذنا إلى حدود أخرى. قد تكون مبهمة على نحو مدهش. تلك الحدود التي تفصل بين البشر والحيوانات. وتيسر الخلايا الجذعية إنتاج خيّمات متطورة بين الأنواع: كائنات حية تتألف من خلايا بشرية وحيوانية. ويسكن للمسائل الأخلاقية التي يطرحها مجرد وجود هذه المخلوقات أن تصبح عقلة على نحو خطير.

والخيّمرة، في الأسطورة اليونانية، هي مسخ يضم أجزاء من المزة والأنس والأفعى. ويمكن للخيّمات المتوالدة في المختبرات أن تبدو، بسبب هذه السمية⁽¹⁾، وكأنها فكرة شريرة وأدت من غطرسة علمية محضة. ومع ذلك، فإن إنشاء هذه الخيّمات يبدو محتوماً إذا كان لابد من استعمال الخلايا الجذعية كمواد علاجية. وسيتحتاج الباحثون إلى دراسة كيف ستسلك الخلايا الجذعية داخل الجسم، وكيف ستستجيب للكيماويات المختلفة. وما لم يقدّم الباحثون بأجراء هذه التجارب الأولية الخطرة على الإنسان، فإنهم سيحتاجون إلى حرية التجريب على حيوانات تحوي خلايا بشرية وبذلك لابد من تكوين الخيّمات.

لقد كان «ايزمان» وزملاؤه [في جامعة ستانفورد] رواد التجارب الخيّمرة عندما كانوا في عام 1988 متزاناً أجهزةًها المناعية بشرية كلياً، وذلك بغرض دراسة الإيدز. وفيما بعد اقترس فريق ستانفورد وآخرون خلايا جذعية بشرية في أدمغة فئران وليدة كنماذج أولية للأبحاث العصبية.



الخيّمرة الأصلي

بحيث يصعب علاجها بصورة فعالة بمجرد إعطاء المريض الأدوية أو حتى بالمعالجة الجينية. وللخلايا الحية، التي تنتج عدداً كبيراً من الجزيئات الفعالة ببولوجيا، أمل أفضل في النجاح لمعالجة هذه الأمراض ومع أنه لم تجر حتى الآن تجارب سريرية على الخلايا ES، فإن الأنماط الأخرى للمعالجة الخلوية أظهرت أن بوسع هذا النوع من الاغتراس أن ينجح في الإنسان. وإضافة إلى اغتراس نقي العظم الذي غدا واسع الانتشار، فإن الأمثلة على

هذه المعالجات تشمل استعمال الخلايا الجذعية العصبية المأخوذة من الجنين لمعالجة أمراض دماغية، وخلايا بيتا المفرزة للانسولين المأخوذة من الجنين لمعالجة داء السكري، ويتخطى النجاح فيما يتعلق بالخلايا ES الأمل بنجاح الخلايا الجسدية، حتى إن الأولى ستعمل أخيراً على نحو أفضل، ولكن البرهان على ذلك سيحتاج إلى إجراء الكثير من الأبحاث الإضافية.

وتتمثل العقبات التي يجب على الباحثين التغلب عليها، بسبل أفضل للحصول بفعالية

(1) Human-Animal Chimeras

(2) In vitro fertilization

(3) human blastocyst

(4) human blastocyst

(5) human blastocyst

أصول الخلايا الجذعية الجنينية ومصائرها⁽¹⁾

تُشتق الخلايا الجذعية الجنينية (ES) من الجزء الذي سيعمل في النهاية كامل الجسم، والموجود في الإجنة في مراحلها المبكرة جداً. وبالنظر إلى أن الخلايا ES ترجع إلى هذه المرحلة البدائية، فإنها تستبقى القدرة كي تكون «متعددة الإسكانات» (pluripotent)، فتتسلل أي نمط خلوي يوجد في الجسم.

بيضة مخصنة
(يوم واحد)



كبسة أريمية
(5 إلى 6 أيام)

الكتلة الخلوية الخارجية

الكتلة الخلوية الداخلية



معبدة⁽²⁾
(14 إلى 16 يوما)

مصير الخلايا

بعد انقضاء أقل من أسبوع على إخصاب البيضة البشرية، فإن الجنين المتنامي يحوي ما بين 100 و 150 خلية تقريباً. ويكون الجنين على شكل كرة مجوفة، تعرف بالكيسة الأريمية⁽³⁾. تتألف فقط من كتلة خلوية خارجية، ستشكل، إذا ما تم الحمل، المشيمة، ومن كتلة خلوية داخلية، ستصبح الجنين. وستستمر هذه الخلايا داخل الرحم بالتضاعف، وتبدأ بالتخصص في غضون الأسبوع الثالث؛ وسيجوي الجنين، الذي يعرف حينئذٍ بالـ «معبدة»⁽²⁾، ثلاث طبقات متميزة، germ مميزة، ستشكل أخيراً الخلايا المتخصصة منها مثل النسيج.

الطبقات المنشئة
الجنينية، وبعض النسيج
التي تستشقت منها

الأديم الظاهر⁽⁴⁾
(الطبقة الخارجية)
الجلد
العصبونات
النخاعي
العين
الأذن

الأديم المتوسط⁽⁵⁾
(الطبقة المتوسطة)
نقي العظام
العصلات الهيكلية والمسا، والقلبية
القلب والأوعية
الأنابيب الكلوية

الأديم الباطن⁽⁶⁾
(الطبقة الداخلية)
البنكرياس
الكبد
الدرقية
الرئة
المثانة
الإحليل



إنماء الخلايا الجذعية الجنينية

بغية إنشاء خطوط من الخلايا ES، يُزيل العلماء الكتلة الخلوية الداخلية (ICM) من الكيسة الأريمية، التي أنشئت في المختبر (وتكون عادة قد تُركت بعد محاولات الإخصاب في المختبر). توضع الخلايا ICM على صفيحة تحوي خلايا مُطعمة، فتسارع إلى الالتصاق بها. وفي غضون أيام قليلة، تنمو خلايا جديدة بدءاً من الخلايا ICM، وتشكل مستعمرات (الشكل العلوي). تعرف هذه الخلايا بشكل اصطلاحي بالخلايا الجذعية الجنينية⁽⁷⁾ فقط إذا ما عرضت وأسمات جزيئية معينة واستطاعت أن تعطي بالانقسام عدة أجيال خلوية مقيمة الدليل على أنها تشكل خطاً خلوياً ثابتاً أو خالداً.

ملوثة ومائتة، ولكن مصداق عليها أمريكا^{٢٤}

قد لا تتسبب المشكلات المتمثلة بالتلوث وبالشذوذات الجينية في إيقاف المعالجات القائمة على الخلايا الجذعية الجنينية.

على إنتاج أنماط خلوية متمايزة، أو أنها قامت بذلك إنما على نحو بطيء فقط. لقد تمسكت طرائق التعامل مع الخلايا الجذعية تمسسا كبيرا منذ أن أضحت سياسة الولايات المتحدة قيد التنفيذ. ويعتقد الباحثون أنه يمكن الحفاظ على خطوط خلوية حديثة العهد على نحو صحي أكثر بكثير، وبخاصة أنه كشف النقاب عام 2005 عن نمطين جديدين من أوساط زرع الخلايا ES لا يحتاج النمو فيها إلى مهد من الخلايا الفارئة «المطعمة»^(١٠)، وهي ممارسة استعملت في الماضي في إنتاج جميع الخطوط الخلوية الحكومية التي تمت الموافقة عليها. ولقد تم التأكيد مؤخرا من صحة المخاوف التي ترى أن الخلايا المسجلة قد تلوثت بجزيئات فارئة، بمراسة أوضحت أن الخلايا ES البشرية التي نعتت بهذه الطريقة قد استصت فعلا بروتينا فاريا وضعت على سطحها؛ ذلك أنه عندما تم تعريض الخلايا ES التي أظهرت هذا البروتين لصل الدم البشري، فإن الأضداد الموجبة ضد البروتين الحيواني هاجمت الخلايا ES وقتلتها.

وبمع ذلك، فإن «جيرون» في كاليفورنيا - وتمتلك حقوق تسعة من الخطوط المصايق عليها حكوميا - تقول إنها ستقدم طلب في مطلع عام 2006 إلى الإدارة FDA للسماح لها بأن تضيي قسما في استعمال هذه الخلايا في تجارب على الإنسان لتصلح السخاع الشوكي. إن «أوكارما» [رئيس «جيرون»] واثق من أن خلايا الشركة نظيفة، وذلك بعد إخضاعها لما يدعوه «قائمة شاملة» من الاختبارات «المعايرة الجذعية»^(١١) ولم تعلن أي شركة أمريكية أخرى عن تقديمها طلب رسمي لتجريب مشتقات الخلايا الجذعية الجنينية على الإنسان. بيد أن «د. واكنر» [مدير معهد الخلايا الجذعية التابع لجامعة مينيسوتا] أبلغ في عام 2005 مسرعي الولاية بأن قرية «مكب فعلا موافقة الإدارة FDA لإجراء تجارب من هذا القبيل. ولقد رفض «واكنر» الكشف عن أي تفاصيل أخرى.

كما أن الإدارة FDA لم تعلق على عدد الطلبات التي تلقفتها لتجريب مشتقات الخلايا الجذعية، أو على الموعد الذي سيتخذ فيه القرار إن إمكان الطوث الحيواني لا يحولها دون استعمال الخلايا المسجلة في الإنسان - إن الاقتراض الغريب لصمامات قلب الخنزير، وحتى اقتراض نقي عظم الوياح baboon في الإنسان، نال في الماضي موافقة الإدارة FDA. وكانت الملاحظة الوحيدة التي تقوه بها ناطق بلسان هذه الإدارة هي أن القرار سيبنى على الأهلية العلمية للتجارب المقترحة، وليس على السياسة.

■ C. سورز

عندما خطر الرئيس «جوش» في الشهر 2001/8 إنشاء خطوط جديدة من الخلايا الجذعية الجنينية بأموال فدرالية. خفف من تأثير الضربة التي وجهت للأبحاث الطبية الحيوية بوعده أن أكثر من 60 مستحضرا من الخلايا ES لا تزال متاحة لاستعمالها في تطوير معالجات مستقبلية للمرضى. ومع ذلك، فقد أجبرت قائمة متنامية من المشكلات الخاصة بهذه الخلايا إدارة الغذاء والدواء (FDA) أن تدرس في ما إذا كانت الخلايا المشتقة من هذه المستحضرات آمنة للتجريب على البشر.

وبين أن 22 خطا خلويا غطت من الخلايا ES التي أجاز استعمالها. وأنشئت قبل الشهر 2001/8، لا تزال عيوشة، وتظل متاحة للباحثين، وذلك على الرغم من أن أسئلة أُلحقت حول نوعيتها في ضوء تقديمها بالعم. ويفترض بهذه الخطوط أن تكون «خالدة»، ولكن عرف عن استبقاء الخلايا في الزرع لدو طويلة أن هذا الاستبقاء يحرض على تشوهات في الخلايا الأخرى. لذا، فإن الحاجة لم تكن غير متوقعة كليا فيما يتعلق بالعلماء. عندما أخذت تتوالى التقارير عن شذوذات جينية في بعض الخطوط المسجلة لدى معاهد الصحة الوطنية، وقد فقدت بوضوح بعض الخطوط الخلوية المسجلة الأخرى قدرتها



لقد تلوثت الخلايا الجذعية الجنينية التي نعتت في المختبر بمواد اتت من الخلايا الفارئة الداعمة والموجودة في وسط الزرع، الأمر الذي يجعل الاستفادة منها في معالجات مستقبلية موضع شك.

وذلك فيما يتعلق بالتطبيقات المختلفة.

وفي حين أن الاستعمال المباشر للخلايا الجذعية في معالجة المرضى هو ما يستثير كثيرا السياسيين والجمهور، فإن عددا كبيرا من العلماء يرى أن الفوائد الطبية الرئيسية ستكون غير مباشرة، وذلك عبر استعمال هذه الخلايا في البحث العلمي لتحسين المعالجات الأخرى. فإذا ما تمكن الباحثون من فهم طبيعة الإشارات الجينية والكيميائية المعقدة، التي تضبط نمو الخلايا الجذعية وتمايزها، فإن النتائج ستكون، فيما يتعلق بالطب، ذات فوائد هائلة. وعلى الخلايا ES أن تجعل من

الممكن تطوير نماذج لتتامي النسخ ووظيفتها التي ستمكن الكيميائيين من اختبار الأدوية المحتملة بطرائق أكثر فاعلية.

فمثلا، إذا أمكن توجيه الخلايا ES المشتقة من أجنة تبين بالمسح الجيني أنها تحمل جينات التليف الكيسي لتصبح خلايا رئوية مثلية كيسي، فإن ذلك سيمهد الطريق أمام دراسة هذا المرض، وأمام اختبار معالجات له. وفيما يتعلق بالكيميائيين الصيدلانيين، وخلافا للبيولوجيين، فإن تصور الطب التجديدي يشتمل على إيجاد أدوية علاجية - ستكون مثالية إذا ما كانت على شكل جزيئات صغيرة، بوسع

المرضى تناولها عن طريق الفم لتنبهه نسجه كي تتجدد - وليس مجرد التجريب العشوائي للمعالجة الخلوية.

مازال العلم غير أكيد على الإطلاق كي يكشف لنا عن الكيفية التي ستتطور وفقها أبحاث الخلايا الجذعية والطب التجديدي وربما يحتاج الأمر إلى جيل آخر أو جيلين قبل أن يساعدنا التقدم الكبير للبيولوجيا الذي حدث في أواخر التسعينات، على جنب فوائد سريرية مهمة. ولكن المكافأة الطب ستكون أخيرا مذهلة.

Dirty and Dying, but US-Approved? (٢٠)
bed of mouse "leader" cells (١١)
gold standard (٢١)

القرينة الاستنساخية

قد تتغلب النسخ المستنسخة من الخلايا الجذعية على الرفض المناعي.

كما أنه يمكن دراسة الاضطرابات الوراثية، كالتليف الكيسي، مثلاً، ببساطة اشتقاق خلايا ES من أجنة عرفت أنها تحمل هذه الجينة المعيبة موضوع الدراسة [انظر المقالة الرئيسية]. فإن هذا غير ممكن في حال أمراض تنبأ عن جينات أو عوامل غير معروفة ومتعددة.

لقد أعلنت في الشهر 2005/6 مجموعة «هوانك» في كوريا عن اشتقاق خطوط من الخلايا ES استنسخت من مرضى يعانون طيفاً من الأمراض الوراثية أو إصابة في النخاع الشوكي. وقد تضمنت أيضاً كفاية السيولة، إذ أنتجت 185 بضة بشرية تم التبرع بها، 31 جنيناً مستنسخاً و11 خطأ من الخلايا ES. وأكدت الاختبارات المختبرية أن كل خط خلوي متوافق مناعياً مع المريض الذي اشتق منه.

وفي غضون ذلك يتطلع باحثون آخرون إلى مقارنة بديلة لتخفيف الرفض المناعي للخلايا الجذعية، حتى إن البعض يرى أن موضوع الرفض المناعي بكامله قد بولغ فيه، ذلك أن خلايا الكيسة الأرمية والجنين هي بطبيعتها أقل استمناعة⁽¹⁾ من الخلايا البالغة، ويلفون النظر إلى أن الغراس العصبية، مثلاً، التي ستستعمل في معالجة داء باركنسون، ستفيد من حقيقة أن الجهاز المناعي يكون في الدماغ أقل فاعلية من مناطق الجسم الأخرى.

وتتمثل إحدى المقاربات بهندسة الخلايا الجذعية بطريقة ما تجعلها أقل استمناعة، أو أكثر توافقية مع المريض. وهناك بديل آخر أكثر تطرفاً يتمثل بطعن الجهاز المناعي للمريض طمسياً كلياً، وإعادة بثانه من جديد بحيث يطابق الخلايا المخرسة. كما أن بعض الباحثين روج لفكرة أكثر تطرفاً بكثير، وتمثل بتطوير «خلايا مانحة عامة»⁽²⁾، يمكنها أن تتوافق مع أي فرد من الأفراد؛ بيد أنه ليس من الواضح فيما إذا كانت أي من هذه الطرائق قد تنجح عند التطبيق العملي.

وهناك مشروع طويل الأمد، ربما أقل طموحاً، إنما أكثر قابلية للإنجاز، يتمثل بفكرة تخفيض الرفض المناعي إلى الحد الأدنى، عوضاً عن استبعاده كلياً، وذلك بالإنشاء التدريجي لبنك من الخلايا الجذعية يشتمل على عدد كبير من صنفات الألف الخطوط الخلوية، ويمثل يقدر الإمكان طيفاً كاملاً من السمات المناعية، ويمكن عندئذ لأي مريض بحاجة إلى خلايا جذعية يتوقع الحصول على خلايا ذات تطابق جيني جيد إن لم يكن كاملاً ■
<<C.C>

The Cloning Connection (+)
International
Universal donor cells (+)

قد يُعتَقد الاستنساخ العلاجي أن تكون أعضاء من أجل الاغتراس الخعويضي

غالباً ما يشعر علماء الخلايا الجذعية بالغضب للطريقة التي يخلط فيها الناس بين أبحاثهم وبين الاستنساخ، مع أن الاستنساخ لا يزيد أي دور في معظم أبحاث الخلايا ES، التي تُجرى حالياً. ويتمثل أحد الأسباب لهذا الخلط في أن الملقن كليهما يشتملان على إنشاء الأجنة.

وقد يوجد سبب ثان لهذا الخلط، ويتمثل في مصادفة التوقيت، فلقد تم لأول مرة زرع الخلايا ES البشرية مباشرة بعد ولادة «دولي»، ولغت الملقن النظر فوراً إلى الإمكان المتمثل بدمج الاكتشافين معاً. وتم ابتكار المصطلح الاستنساخ العلاجي therapeutic cloning لوصف إنشاء جنين مستنسخ كمصدر للخلايا ES. ويتم في هذه السيولة تدمير الجنين. وبالغالب، فإنه يتم في الاستنساخ التوالدي reproductive cloning إنتاج طفل يبدأ من الجنين المستنسخ.

ومع ذلك، لا يمكن الإكثار من الاستنساخ بشكل بهذا مهما في برنامج (اجندا) agenda أبحاث الخلايا الجذعية، ذلك أن الاستنساخ يبدو الأسلوب الأنسب للتغلب على مشكلة سريرية جديدة، تتعلق باغتراس الخلايا والأعضاء، وتمثل بالرفض المناعي. فالجهاز المناعي يهاجم أي طعم لا يكون من الناحية الوراثية مثيلاً للمريض، وحتى في حال غريسة حسنة التطابق، فإن نجاح الاغتراس يتطلب معالجة تستمر مدى الحياة بعقاقير كابطة للجهاز المناعي؛ وهذه معالجة ذات تأثيرات جانبية خطيرة، بما في ذلك استعداد متزايد للعدوى (للخمس) وللسرطان.

ويمع في الاستنساخ العلاجي استعمال تقنية نقل نواة الخلية الجسدية somatic cell nuclear transfer (SCNT)، وهي التقنية التي تم بواسطتها إنشاء «دولي». فوادة خلية ما من خلايا المريض تُنقل إلى بضة تم التبرع بها، وأزيلت نواتها. تنبأ عندئذ البضة لتسلك وكأنه قد تم إخصابها، لتتنامى إلى جنين يمكن أن يصبح مصدراً للخلايا ES.

يكون مثلاً DNA ذات دنا المريض [يشير معارضو الاستنساخ إلى أنه يمكن اغتراس هذا الجنين في الرحم لينمو إلى رضيع].

ولكن بما يؤسف له أن التقنية SCNT هي سيولة غير فعالة في الحيوان، كما في الإنسان. إن أول التقارير الموثوقة علمياً عن الاستنساخ البشري نشر في العام 2004 من قبل S.W. هونك وزملائه [من جامعة سيول الوطنية]. لقد استعمل هذا الفريق 242 بضة ليحصل على 30 جنيناً مبكراً،

اشتقوا منها خطأ واحداً عوضاً من الخلايا ES وتمتلك كورينا الشمالية سرعة من الخلايا المستنسخة لهذه البحث العلمي، مكثت العلماء من الحصول على بيوض جيدة النوعية.

وفي التواقع، حتى لو أمكن جعل الاستنساخ العلاجي فعالاً، فإنه يصعب تصور الحصول على عدد كاف من البيوض البشرية، ويجعلها متاحة لاستعمال التقنية على نطاق واسع في العلاجات [ما لم يحدث اختراق تقني غير متوقع]. بيد أن العلماء، يأملون في المستقبل القريب استخدام الاستنساخ العلاجي



٢ عمال التصليح من داخل الجسم

قد تنجو الخلايا الجذعية البالغة من الجدل الأخلاقي، الذي يدور حول نظيراتها ذات الأصل الجنيني. ولكن كما تلاحظ <C. سورز>، فإن أهميتها السريرية العملية لاتزال شديدة الغموض.

ما زال استعمال الخلايا الجذعية في المعالجات السريرية فكرة مستقبلية تتوهج بالأمل، بيد أن لإحدى هذه المعالجات تاريخاً من النجاح يرجع إلى ما قبل 40 عاماً تقريباً. فلقد تمت معالجة عشرات آلاف المرضى بغراس من نقي العظام، واتضح أن تسريب خلايا جذعية صحيحة بوسعه أن يجدد قسماً من الجسم كلف عن أداء وظيفته. وكان قد قاسى مرضى معظم هذه المعالجات اضطرابات ولادية دموية أو مناعية، أو أن نقي العظام لديهم كان قد تآذى بسبب المعالجة السرطانية. ونتيجة لذلك، فإن الخلايا الجذعية المكونة للدم في نقي عظامهم، التي تنتج يوميا في الحالة السوية بلايين الخلايا الدموية والمناعية، تحتاج إلى الاستبدال.

ومنذ عام 1968، أصلحت هذه الغراس بنجاح كبير قدرة المريض على صنع خلايا دموية ومناعية صحيحة. ومع اكتشافات العلماء في العقد الماضي أنماط إضافية من الخلايا الجذعية في كل مكان من الجسم البشري، تنامت الحماسة لإمكان استبدال أقسام أخرى من الجسم كلفت عن أداء وظائفها، وذلك بتجديدها أيضاً عن طريق غراس من الخلايا الجذعية.

ومع تنامي معارف الباحثين فيما يتعلق بخصائص الخلايا الجذعية وسلوكها، فإن اتفاقهم يتناقض فيما يبدو حول الإجابة عن أسئلة أساسية تماماً، تتعلق بالهوية الحقيقية لهذه الخلايا، وبالمكان الذي تنشأ فيه، وما الذي تستطيع أن تقوم به فعلاً، وكيف تنجز ذلك. بناء على ذلك، ومع أن الخلايا الجذعية البالغة قد لا تستثير الكثير من الجدل السياسي القائم حالياً، فلقد أصبحت من الناحية العلمية أكثر إثارة

تشق الخلايا المكونة للدم (الأرجواني) من نقي العظام. إنها أولى الخلايا الجذعية البالغة التي استعملت علاجياً لتجدد خلايا الدم والمناعة عبر اغتراس نقي العظام.



للجدل من نظيراتها الخلايا الجذعية الجنينية. ولحسن الحظ، فإن معظم الباحثين قد يتفق كحد أدنى على تعريف أساسي: على الخلية الجذعية (سواء كانت جسدية (بالغة) أو جنينية) أن تجدد نفسها تجدداً لا نهائياً عبر الانقسام الخلوي، وتستبقى في الوقت نفسه حالتها الجنسية، محتفظة بإمكاناتها لتنشئ خلايا بنات ذات أنماط متخصصة أكثر. ويبدأ هذا النتاج الخلوي بأن يمايز نفسه بصورة جرتئية، محطفاً في الوقت نفسه بنوع من المرونة يسمح له بأن يعمل كسليفات لتنوعات خلوية عديدة في عضو أو جهاز خاص [انظر الإطار في الصفحة المقابلة]. فمثلاً، يمكن للخلايا المتحدرة من الخلايا الجذعية الخاصة بالحمية المتوسطة^١، التي توجد في نقي العظام، أن تصبح عظاماً أو غضروفاً أو خلايا دهنية وأنواعاً مختلفة من الخلايا العضلية والخلايا التي تبطن الأوعية الدموية (أي البطانة). ومع أن النسخ التي تتشكل من الخلايا الجذعية لنقي العظام تبدو على ما يظهر متباينة، فإن لها صفة مشتركة واحدة. فعندما يبدأ جسم الإنسان بالتشكل، تنشأ جميع هذه الخلايا من الطبقة الوسطى، أو الأديم المتوسط للجنين المتنامي. وتتشكل هذه الحقيقة محورا لأكثر الأسئلة أهمية، والذي تتم مناقشته من قبل علماء الخلايا الجذعية، ويتمثل فيما إذا كانت الخلايا الجذعية البالغة قادرة على التحور تمايزياً: أي إنها قادرة على إنتاج نسج جديدة وظيفية خارج سلالة طيقتها الجنينية. ويمكن للإجابة عن هذا السؤال أن تكون حاسمة فيما يتعلق ببعض المعالجات التجديدية الطموحة القائمة على الخلايا الجذعية الجنينية.

لقد اعتبرت الخلايا الجذعية البالغة تقليدياً ذات إمكان محدود، وهو أنها تستطيع أن تنتج فقط تنوعات خلوية تقع فقط ضمن سلالتها الخاصة بها. لذا، فهي توصف عادة بأنها عديدة الإمكان multipotent، وليس متعددة (كثيرة) الإمكان pluripotent، كالخلايا الجذعية الجنينية؛ بيد أن كثيراً من المجموعات البحثية أدعت في السنوات الأخيرة أنها استطاعت أن تجعل الخلايا الجذعية

تتجاوز الخطوط السلالية الخاصة بها. فمثلاً، حولت الخلايا الجذعية المولدة للدم إلى كبد والخلايا الجذعية العصبية إلى أوعية دموية وخلايا اللحمية المتوسطة إلى عصبونات.

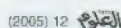
ففي عام 2002، وصفت <C. قيرفيلي> [من جامعة مينيسوتا] في بادئ الأمر خلية جذعية بالغة جديدة من نقي العظام، يمكنها أن تنتج أنماطاً خلوية من السلالات الجنينية الثلاث وأطلقت عليها اسم الخلية السليفة البالغة العديدة الإمكان multipotent adult progenitor cell (MAPC). وتفكرت <قيرفيلي> أن مرونة هذه الخلية قد تكافئ الخلية الجذعية الجنينية وفي الواقع، فإنها اعتقدت أن الخلية MAPC هي خلايا جنينية لم يطلها التمايز، فهي تعمل وفقاً لآلية تصليحية شاملة ترمم بوساطتها الجسم البالغ.

وبالتأكيد، فإن خلية من هذا النمط أحادية الحجم وتلازم الخلايا الجذعية جميعها، قد يحل محل معضلة تجدد النسخ التي لم يتم فيها اكتشاف سلفيات موضعية، كما هي الحال في القلب، أو حيث تكون الخلايا الجذعية الموضعية بالغة النادرة ويصعب الحصول عليها، كما هي الحال في الدماغ. ولكن مما يؤسف له، أن باحثين آخرين واجهوا صعوبات جمة فيما يتعلق بإنتاج بعض نتائج الخلية MAPC، ولايزال الباحثون المعنيون يبحثون عن الإمكان الحقيقي لهذه الخلايا. وقد ألقى أيضاً التفحص التالي ظلالاً إضافية من الشك على كثير من الزعم المتعلق بالتمايز والتجديري، وذلك فيما يتعلق بأنماط أخرى من الخلايا الجذعية البالغة.

وحتى في النسخ ذات السلالة الواحدة، فإن اغتراس الخلايا الجذعية لا ينجح دائماً على نحو متميز. وعلى وجه التخصيص، فإن المحاولات لصنع خلايا جذعية أخذت من الدم أو من نقي العظام، وولدت نسيجاً جديداً في القلب، عرضت نتائج متضاربة.

وقد لوحظ أحياناً في التجارب السريرية، التي تناولت مرضى تذبذب قلوبهم تنسجة هجمات قلبية، تجدد نسيجي بسيط، ويحدث

REPAIR WORKERS WITHIN (١)
مستشفى (١١)



أيها المريض: اشف نفسك

يمكن لإنعاش الخلايا الجذعية لجسم أن يشكل لهذا الجسم المعالجة الجديدة الأكثر بساطة.

من بين أكثر المفاجآت تشاؤماً ما كشفت عنه مؤخرًا أبحاث الخلايا الجذعية في السنوات الأخيرة من حيث علاقة هذه الخلايا ببعض أنواع السرطان. ويعرف اببيضاض دم واحد على الأقل، أنه نجم عن انحراف الخلايا الجذعية لنقي العظام عن مسارها السوي. ويشبهه حاليًا أيضًا في أن أنواعًا معينة من سرطان الدماغ والمعدة والذي قد استتيرت نتيجة تحول الخلايا الجذعية إلى خلايا خبيثة. وترى إحدى النظريات أن هذا قد يحدث عندما تعلق الخلايا الجذعية، التي تكون عادةً هاجعة، بسيروورة طراز تصلح الجرح. فاستبقاؤها مفعلة لفترة أطول مما يجب يجعل الخلايا الجذعية عرضة للطفر، فتصبح عندها كابوسًا بيولوجيًا: أي تصبح خلايا سرطانية شاذة تمتلك، في الوقت نفسه، القدرة التكاثرية للخلايا الجذعية.

لقد توصل الباحثون لعلًا إلى طرائق تعيد بوساطتها قرينة الخلايا الجذعية/ الخلايا السرطانية إلى نفع المريض نفسه. لقد تم استئصال غريزة الخلايا الجذعية للاستبيات¹ في تجارب على الحيوان كي تنقل "جينة انتحارية" إلى الخلايا الورمية، تاركة النسيج السوي دون أي تاذ. كما أن التماثل الفيزيائي بين الخلايا السرطانية والخلايا الجذعية أنتج مؤخرًا اختصارًا ميكانيكيًا يجعل من السهل التمييز في دم الشخص بين نمطي الخلايا الجذعية والسرطانية. وبطبيعة الحال، تُبذل جهود حديثة بغية تعرف حقيقة لغة التناشير، التي تتخاطب بوساطتها الخلايا الجذعية كي يتم تحويل قدرة الشخص نفسه على الالتئام إلى ما يمكن أن يتضح أنه سيروورة يمكن التحكم فيها بحيث تكبح نمو الخلايا الورمية.

<C>



تُعد القدرة الفطرية للجسم على التجديد الأساس الذي تسعى للمعالجات القائمة على الخلايا الجذعية كي تضاهيها وتحسن من فاعليتها. ولهذا السبب، فإن أبسط السبل لكثير من المعالجات قد تشمل على تعبئة الخلايا الجذعية الخفيفة فعلًا في داخل جسمنا وتفعيلها. ويركز حاليًا جهد بحثي رئيسي على تعلم اللغة الكيميائية الدقيقة التي توجه سلوك الخلايا الجذعية في أثناء الالتئام الطبيعي للجرح. ويوسع الفهم التام لسيروورة هذا الالتئام أن يساعد في بعض الحالات على استبعاد الحاجة إلى تسريب خلايا تمت تنميتها في المختبر. ويمكن للإيمادات الكيميائية الصحيحة أن ترمم حتى فاعلية خلايا المرضى المتقدين في السن. ومع أن الفوائد الكامنة كثيرة، فإن الأخطار ماثلة أيضًا.

وبغية الوقوف على أحد أنواع هذه الفوائد، يمكن النظر إلى عقبول² تدريب مفرد تقاسمي العضلات منه ألى مبرحًا. في مثل هذه الحالة، ترسل كل خلية بفقردها إشارات كيميائية، وكأنها تستغيث طالبة العون. وعندهن تستجيب الخلايا الجذعية لهذه الاستغاثة مباشرة، فتزحف إلى المواقع المجهزة للتأثير من الألياف العضلية وتشرع في إجراء ما يتطلبه التصليح. لقد نسب في مطلع عام 2005 لهروتين اكتشف حديثًا وأعطى الاسم دلفا Della خاصة تجديد الخلايا الجذعية البائية للعضلات في الفأر. فقد قام فريق بجامعة ستانفورد بقيادة <R> رائدو³ بقرن فشران هرمة بفشران فتية بوصل جهازيهما الدورائين أحدهما بالآخر، بحيث يدور دم الفأر الفتى في أورددة الفأر الهرم، فوجد هذا الفريق أن شيئًا ما في الدم الفتى، يفترض أنه الهروتين دلفا، قد جدد مستوى الفاعلية الشبانية للخلايا الجذعية التي توجد في الفأر الهرم.

لقد نجح الباحثون في الضمى بتجديد الكتلة العضلية للحيوانات عبر المعالجة الجينية التجريبية حيث تم تركيب بروتين مختلف يعرف بعامل النمو الشبيه بالانسولين⁴ (IGF-1) insulink growth factor-1. وبالفعل، فلقد كان نجاح التجارب على درجة من التميز بحيث استثار استئثار الخوف من احتمال قيام رياضي المستقبل، بتثبيط عضلاتهم جينياً. وقد استثار العامل IGF-1 في البداية فاعلية الخلايا الجذعية، ولدى تضخم تأثيره، استطاع أن يستدعي إلى منطقة الإصابة خلايا جذعية تقطن مناطق بعيدة. لذا، فإن بعض الباحثين يرى أنه عوضًا عن الحاجة إلى اغتراس خلايا جذعية تجدد النسيج المأذى نتيجة الهجمة القلبية، فإنه يمكن لجورعة من العامل IGF-1 أن تستهل التصليح بوساطة الخلايا الجذعية الجائلة فعلًا في الدورة الدموية، أو المخيبة داخل القلب نفسه. وقد تلجج مقارنة ماثلة في أي عضو أو نسيج ما إذا ما تعرف العلماء أيا من الإشارات التي تستدعي الخلايا الجذعية الصحيحة كي تشرع في العمل. ولعل ما هو أكثر أهمية هو تعرف كيف يمكن إيقاف فاعلية الخلايا الجذعية بعد أن تكون قد أنجزت عملها التصليحي. وقد تكون

بالغة adult، ذلك أنها توجد ضمن خلايا متميزة. بيد أن الفتوة المبكرة لهذه الخلايا تمنح العلماء الأمل أنه عندما يتم اغتراسها ستتلائم بسهولة مع محيطها الجديد وتنتج بفاعلية خلايا جديدة.

ويمكن لأختبار منهم لكل من الخلايا الجذعية الجنينية، وإمكانات المعالجات الدماغية ذات الأساس الخلوي عموماً، أن يتحقق في هذا العام (2006)، إذا ما حصلت الشركة Stem Cell Inc. على موافقة الحكومة الأمريكية على تجربتها السريرية المقترحة.

دماغية مماثلة أخرى.

وفيما يتعلق بعلماء الغرب، ستكون تجربة «باتن» الغتراس الأول لخلايا جذعية عصبية في دماغ الإنسان، وهي بيئة يخشى البعض من أن تكون صعبة. فيما يتعلق بالمعالجة بالخلايا الجذعية. وخلافاً للجلد والكبد والنسج الأخرى التي تصلح نفسها بعد الإصابة بصورة طبيعية، فإن الدماغ والنخاع الشوكي والنسج العصبية الأخرى

Patient, Heal Thyself (+)
thermalth (+)
noming (+)

وتخطط هذه الشركة، التي أسسها <K> كيج⁵ (من معهد سولك، والذي اكتشف لأول مرة الخلايا الجذعية العصبية) أن تغترس خلايا جذعية عصبية جنينية في أدمغة أطفال مصابين بداء باتن Batten. وينشأ هذا المرض المميت عن إخفاق الدماغ في إنتاج إنزيم يزول ماء الخلايا، فإذا ما أنشأت الخلايا الجذعية خلايا دماغية جديدة صحيحة تنتج الإنزيم المفقود، فإنه يمكن للمعالجة أن تخفف أعراض المرض، وينطوي ذلك على احتمالات مؤثرة لمعالجة اضطرابات

إنتاج خلايا جذعية عند الطلب

إن تحويل النسيج العظمي إلى عظمي، وإعادة نمو الأعضاء قد يكون ثغرة أبحاث إزالة التمايز.

ما الذي يستطيع فعله سلطنة new¹ بسيط، ويحاول الإنسان تعلمه إن البرمائي الصغير يستطيع أن يبدد طرقاً لمنع تكامله، أو عضواً أزيل برمشه، بأن يصادر خلايا جسمية مشابهة - عظمية وجذعية وعظمية، وعلم جراً - ويرجع ساعتهما البيولوجية إلى الوراء كي تصبح في حالة إزالة تمايز جذوعية stemness وينشئ السلطنة هذه الخلايا الجذعية أنما في موضع الإصابة حيث تبدأ فوراً بإعادة بناء الجزء المفقود من الجسم.

وعلى العكس من ذلك، فما إن تسير خلايا الثدييات في طريق تمايزها لتصبح خلايا عظمية أو جلدية أو شاعية، حتى تصبح العودة إلى الوراء في الحالة السوية غير واردة. ويقال عن هذه الخلايا أنها في مرحلة التمايز النهائي. ومع ذلك، إذا تمكن الإنسان من إزالة التمايز، فلن يتوجب على الأطباء أن يصيدوا خلايا جذعية نادرة ومزروعة داخل الجسم، أو أن يحاولوا قسر خلايا جذعية من نسيج ما لتجند نسيجاً من نمط آخر. وعوضاً عن ذلك، يمكن لخلية الهنكرياس العادية أن تتحول إلى سليفات الخلايا المنتجة للأسنولين التي فقدت في داء السكري من النمط 1. ويمكن للخلية العصبية السوية أن تصبح مصغرة لعصبونات تستعمل في تصلب الدماغ والنخاع الشوكي.

إن الأبحاث في هذه المقاربة قد بدأت للتو، بيد أن الفئات المبكرة مشجعة ومبيرة في أن واحد فقد بين في بادئ الأمر - McKittrick وزملاؤه [من كلية طب جامعة هارفارد] عام 2001 أن إزالة التمايز في الثدييات قد تكون ممكنة، وذلك بتكوص الخلايا العصبية للغار لدى معالجة خلايا أطراف السلطنة الأخذة في التصدد. لقد عزوا الارتداد إلى بروتينات توجد في خلاصة، وقد عملت على تفعيل جيدة واسعة أو أكثر في النسيج المعالج.

وفي عام 2004 أعلن أيضاً فريق من معهد أبحاث سكر ليس إزالة تمايز الخلايا العصبية للغار، ثم إعادة تمايزها إلى خلايا عظمية أو دهنية. لقد استعمل الفريق جزيئاً كيميائياً صغيراً، عثر عليه بطريقة التجوية والخطأ، وأسماه ريفورسين reverseine، بيد أن الفريق غير واثق كيف يعمل هذا الجزيء.

ويرى آخرون البنية الطبيعية، أو niche، الذي تستوطنه عادة الخلايا الجذعية داخل الجسم كي يتعرفوا العوامل البيئية، التي يمكن أن تعلم الخلايا الجذعية بما يجب عليها أن تفعله، متى يجب أن يتم ذلك. لقد استعمل McKittrick و T. Kie [من معهد كارنيجي في واشنطن] هذا النوع من المعلومات كي يتحكموا في الخلايا الجذعية لذباب الفاكهة، التي تنتج في الحالة السوية البيوض في الأنثى فمن طريق منابقتها إشارات صادرة عن العنبر، تمكنها من جعل الخلايا تتمايز، ثم تعود عن تمايزها ثانية.

إن هذا النوع من التمايز يدعم التخمين بأن هذه الإشارات البيئية قد تكون حاسمة في تكوين جذوعية الخلايا الجذعية والحفاظ عليها. وكما يقول «D. زيبوري» [من معهد أبحاث العلوم] في مقالة مراجعة² ظهرت مؤخراً إنه قد بُدئت في النهاية أن الخلايا الجذعية لا تشكل كبنوة لحالة ثابتة، بل لحالة خاصة، يمكن لأي خلية أن تصير فيها إذا ما تحققت لها الشروط الصحيحة.

<C.S>



إن إزالة التمايز لخلية جسمية سوية، كليف عظمي مثلاً، تتسبب في فقدانها خصائصها التمايزية وفي ارتدادها إلى حالة خلية جذعية بدائية الفطر. وبدلاً من هذه الحالة، يمكننا أن نعلم أن تمايزاً خلوية جديدة، فالخلايا الدهنية أو العظمية، إن الوصول بهذه التقنية حد الفصال يعني أنه بإمكان الخلية الجسمية المتمايزة أن تتحول إلى زاد غير محدود من الخلايا الجذعية، تعمل على تجديد النسيج.

لا تقوم بذلك، وما من أحد متأكد تماماً لماذا لا يحدث ذلك، إن مجرد وجود الخلايا الجذعية العصبية البالغة يوجب بضرورة استمالتها أن تعوض عن النسيج العصبي المات. وقد حث إحقاقها في القيام بذلك على التخمين أن شيئاً ما يعمل على تثبيتها.

وفي بداية عام 2005، أعلن باحثون من معهد شينس Schepens لأبحاث العين في بوسطن بماساتشوستس عن اختراق يتعلق بهذه العضلة. فبمجرد أن نابوا³ الجينة المسؤولة عن إرسال إشارات «إحصارية» إلى الخلايا الجذعية، استطاعوا أن يعيدوا إنشاء الأعصاب البصرية المتأذية للفئران. وتركز التجربة الانتباه على مقارنة جديدة وأعادة للمعالجة بالخلايا الجذعية. وتتلخص الفكرة بتعلم لغة الإشارات، التي توجه في الحالة السوية سلوك الخلايا الجذعية على نحو يمكنها من أن تعين الخلايا الجذعية الخاصة بالمرض كي تقوم بالتصليح اللازم وفقاً للطلب [انظر الإطار في الصفحة القابلة].

إن دراسة الإشارات التي ترسلها الخلايا الجذعية وتلقاها في بيئتها الطبيعية، أخذت أيضاً بتحسين الفهم الأساسي للعامل الذي يمنح الخلية الجذعية كمنوها. فإذا كان سر «الجذوعية» stemness بسيطاً ويتحكم بتفعيل جينات خاصة في مرحلة نوعية، يمكن عندئذ من حيث المبدأ لأي خلية في الجسم أن تتحول إلى خلية جذعية، وسيتم ذلك عندئذ وفقاً للحاجة [انظر الإطار في هذه الصفحة].

ويرجع أن تكشف الأبحاث التي تتقدم باستمرار حول كل من الخلايا الجذعية البالغة والجينية عما إذا كان هذا التفعيل عملياً، وحتى الآن، فإن الخلايا الجذعية البالغة تبدو وكأنها تفتقر إلى الشمولية، التي تميز أقرانها الجنينية. وحتى في وسط نسجها الخاصة بها، فهي تبدي تناقصاً في فاعليتها. ومع هذا، فإن أنماطاً معينة من الخلايا الجذعية برهنت فعلاً على أنها ذات نفع كبير لتجديد وتصليح محدودين. وتعد الأبحاث المختلفة العالمية النطاق، التي تتمحور حالياً حول هذه الخلايا، أن تكشف أكثر فأكثر عن قوة جهاز التصليح الخاص بالجسم.

<C.S>، سورز

Making Stem Cells on Demand (4)

(1) السلطنة new- ضفدع مذنب يعيش في مياه المناطق الباردة وقربها، كجبال الألب مثلاً.

review article (7)

manuscript (7)

bioRxiv (1)

خليط من القوانين

يلاحظ الكاتبان «إ. كارديرو» و «آ. واتسن» كثيرا من الخلافات في العالم حول ما يجب أن يسمح به في موضوع الخلايا الجذعية، هذا على الرغم من المحاولات العديدة للتوصل إلى توافق عام.

أصبح على العالم التصارع مع التوقعات الجدية المتزايدة في أن استنساخ الإنسان قد يصبح بالفعل ممكناً. والنقطة الوحيدة التي يبدو حالياً أن الدول كافة تتفق عليها هي أن محاولة الاستنساخ البشري، أو ما يدعى أيضاً بالاستنساخ التوالدي، غير آمنة علمياً وفاسدة أخلاقياً ومرفوضة اجتماعياً.

ولكن هناك سيرة قريبة الصلة، تعرف بالاستنساخ العلاجي، لا يتنامى فيها أبداً في المختبر الجنين المبكر إلى أبعد من كرة على هذه الكرة الأبحاث لاستخلاص الخلايا الجذعية غالباً، ولكن أيضاً بغية فهم أفضل للتطور المبكر للأمراض ذات الأساس الوراثي. وقد أعلنت بعض الدول حظراً شاملاً على جميع أشكال الاستنساخ البشري، وحظر بعضها الآخر الاستنساخ التوالدي، ولكن سمح بالاستنساخ العلاجي، وأخفقت حتى الآن دول أخرى في وضع أي تنظيم، وكان ذلك غالباً نتيجة الإخفاق في التوصل إلى أي اتفاق. كما أن العديد من الدول أنظمتها الخاصة بها في اشتقاق الخلايا الجذعية الجنينية البشرية وفي استعمالها في الأبحاث. ولتوضيح طيف التنظيمات المختلفة، يمكننا النظر إلى الفروق الكبيرة بين الولايات المتحدة والمملكة المتحدة.

تعد المملكة المتحدة واحداً من بلدان قليلة وضعت تشريعات تعبر صراحة عن السماح باستعمال الأجنة البشرية في أبحاث الخلايا الجذعية وفي الاستنساخ العلاجي. وكانت المملكة قد وضعت في عام 2001 تشريعات أولية ضد الاستنساخ التوالدي، بيد أن هذا الإجراء اتخذ بعد أن وسعت المملكة بنود قانون خصوصية الإنسان وعلم الجنين، الذي ينظم الأبحاث المسموح بها على الأجنة البشرية المبررة.

لقد اتخذت هذه الإجراءات بعد نقاش عام. ثم أقرت بأغلبية أكثر من اثنين إلى واحد في

الجنينية البشرية، والاستنساخ التوالدي، والاستنساخ العلاجي. فبالنسبة إلى البعض، تعد الموضوعات الثلاثة مرفوضة بالقدر نفسه. وللبعض الآخر، فإن المواضيع على درجة كافية من الاختلاف بحيث يستحق كل منها دراسة مستقلة.

يشكل مصدر الخلايا الجذعية الجنينية البشرية نقطة خلاف رئيسية، ذلك أن هذه الخلايا تؤخذ من أجنة لا يتجاوز عمرها أياماً قليلة. ويجري الحصول عليها بصورة أساسية من أجنة خلقتها معالجات الخصوبة، ولكن هذا يقيد أتمام الأبحاث التي يمكن إجراؤها. وثمة بديل ممكن، يتمثل في إنتاج أجنة مستنسخة، ولكنه يتسبب في مأزق أخلاقي إضافي.

فمنذ استنساخ النعجة «دولي» عام 1997،

إن استفادة العلماء من الإمكانيات الكثيرة لما تعد به أبحاث الخلايا الجذعية والاستنساخ العلاجي تتوقف على مكان عملهم في العالم. فهناك تفاوت وخليط مربك من التشريعات، وقليل من الاتفاق بين الدول على ما يجب أن يسمح به وعلى ما يجب ألا يسمح به. ولقد باتت بالقتل محاولات التوصل إلى توافق عام في أوروبا وفي الأمم المتحدة، كما يبقى النقاش على المستوى الوطني في بعض الدول غير محسوم أيضاً. العلم معقد، ومثله البعد الأخلاقي، ولكن المشكلة تكمن في الخلافات الرئيسية في الرأي حول أي الأجزاء من العلم يمكن اعتباره مقبولاً.

هناك ثلاثة مواضيع علمية رئيسية تشكل محور النقاش: الخلايا الجذعية



وزير العلوم والتفانة البرازيلي «إ. كامبوس» (في أقصى اليسار في الصف الخلفي) يحتفل مع معوقين بإقرار قانون الخلايا الجذعية في 2005/3/2. وقد حُثت بالبرتغالية على صدور قصص مؤلفاء المعوقين قولهم «أمل» (اسبرانسا esperanza)، أمل يتوقعه الناس في جميع أرجاء العالم من المعالجة التي قد تأتي من الخلايا الجذعية.

A PATCHWORK OF LAWS (٤)

موقع المواجهة القادمة: قاعة المحكمة

مع تعاظم الحجج حول من سيمتلك التقنيات المستقبلية التي تمخضت عنها أبحاث الخلايا الجذعية، يستعد محامو الشركات للمعركة.

الخلايا الجذعية «ويكلمات أخرى: كل ما له تقريبا علاقة بأبحاث الخلايا الجذعية»

ويشكو المنتقدون في أوساط الأبحاث الأكاديمية والتجارية من أن هذه البراءة واسعة أكثر من اللازم. ولكن المجموعة WARF وكذلك المكتب الأمريكي للعلامات التجارية وبراءات الاختراع يدافعان عن البراءة على خلفية أنه إذا اعتقد الآخرون أن لهم حقوق المنافسة، فإن بإمكانهم الدفاع عنها في المحكمة. وعلى الرغم من اتساع برائتها، فإن المجموعة WARF لم تعق حتى الآن أيًا من التشاطات البحثية التي تخص الغير، وذلك كما تقول «A» ربي» [خبيزة البراءات الطبية في كلية حقوق جامعة ديوك]. مشيرة إلى أن المجموعة WARF تقدم مجانا امتياز برائتها للأغراض البحثية. ويقول حربي: إن الهدنة الحالية قد لا تدوم طويلا، وستنتهي حالما يكون منافسوا المجموعة WARF في هذا المجال جاهزين لتسويق التقنية الخاصة بهم. عندئذ، فإن اتساع برارات المجموعة WARF وشرعيتها سيتم تحديهما في المحكمة.

إن النقاد الذين يرون في برارات الخلايا الجذعية عائقا في طريق تطوير تقنيات منقذة للحياة هم على خطأ، وذلك كما يقول «M» ويرنر» [مدير السياسة العامة في BIO أو منظمة التقنيات الحيوية الصناعية]، الذي يلاحظ بيان الملكية الفكرية عامل حاسم في تقدم العلوم، ولن تكون هناك استثمارات خاصة بدون حقوق البراءات. ويتابع حويرنر: إن الشيء الوحيد الذي يقيد أبحاث الخلايا الجذعية هو تهديد حقوق الملكية الفكرية للذين يقومون بها من أجل الربح.

ينص حويرنر» بذلك النقاش حول برارات الخلايا الجذعية بهراسة في مركز النقاش الاجتماعي الواسع - في الولايات المتحدة وفي دول أخرى - حول كيفية التوفيق بين حماية الملكية الفكرية الضرورية لإقناع الشركات بالاستثمار في الابتكار وبين الحاجة إلى إبقاء قطاع خاص متنافس وقادر أيضا على تعزيز التقدم.

إن كلا منا يعرف شخصا ما يمكن مساعدته يوما ما بمعالجة طبية تقوم على ثقافة الخلايا الجذعية. ولكن الأسئلة المشروعة التي تحيط بهذه التقنية الواعدة تبقى كلها، كما هي الآن، بدون حل. كما أن موضوع من يملك نتائج أبحاث الخلايا الجذعية سيصبح أكثر تعقيدا كلما بدأ المزيد من الولايات الأمريكية برامجها الخاصة بتسويق تجارب الخلايا الجذعية، مشدنة شبكة شديدة التعقيد من التمويل الخاص العام، الذي لا يمكن نفسه في النهاية إلا في المحاكم.

«P». في التمايز»

من يمتلك الخلايا الجذعية؟ وأكثر تحديدا: من يجب أن يمتلك المعالجات الطبية المبدلة للحياة، التي قد تثبِق يوما ما عن هذا الحل - حقل الأبحاث المستقبلية المثير للزراع؟

قد يبدو من المبكر الاهتمام بموضوع حقوق ملكية تقنيات لا وجود لها بعد. وقد لا تصبح سمعة المصنّعين أبدا. ولكن مع زيادة المال المتدفق على أبحاث الخلايا الجذعية - خاصة بعد نجاح مبادرة تصويت العام الماضي (2003) في كاليفورنيا، الذي يجيز للولاية تمويل أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية بثلاثة بلايين دولار - أصبح النزاع حول حق الملكية ليس بالبعيد، وذلك كما يقول خبراء قانونيين.

كانت أبحاث الخلايا الجذعية، لسنوات عديدة خلت، مركزا لمعارك سياسية

هناك قلة من الدعاوى القضائية حول الخلايا الجذعية في الولايات المتحدة، ولكن الهدنة قد لا تبقى قائمة.

وأخلاقية حادة. وتبقى الآن المحاكم موقع المواجهة القادمة: الصراع حول «من يمتلك ماذا» في مجال مازالت الملكية الفكرية فيه أبعد ما تكون عن الوضوح «عامة» كما يقول حنك «وارن» [مدير برارات الاختراع للتقنيات الحيوية في مكتب المحاماة سترلاند اسميل وبيرمان] في ولاية أتلانتا، «تميز» الدعاوى القضائية فقط عندما تكون هناك منتجات تجارية وسوق حقيقية للتقانة». أما الآن، ويعد دخول كاليفورنيا ولايات أمريكية أخرى في لعبة تمويل أبحاث الخلايا الجذعية، فإن هذا الوضع سوف يسرع تطوير النقاش. كما يقول حويرنر» والدعاوى اثية حتما «ويستأن أن يتم ذلك في السنوات الخمس القادمة»

ويشير الخبراء القانونيون إلى أنه لا يوجد في الولايات المتحدة حتى الآن إلا القليل من الدعاوى القضائية حول الخلايا الجذعية، على الرغم من أن منظمة واحدة تدعى حق ملكية الاختراع للخلايا الجذعية الجنينية كافة وهذه المجموعة هي Wisconsin Alumni Research Foundation (WARF) وتدعى هذه المجموعة أن برارات الاختراع الخاصة بها تغطي «طريقة زرع الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، وكذلك أيًا من الخلايا التي لها صفات

مجلسي البرلمان. وادت الجمعية الملكية، التي هي بمثابة الأكاديمية الوطنية للعلوم، دورا بالغيا في إذكاء النقاش، الذي تمخض عن سيرورة غاية في التنظيم، نجم عنها حتى الآن منع امتيازين اثنين لإجراء الأبحاث على داء السكري وعلى داء العصبونات المحركة

amour neurone disease

وتجباين صارخ، لا توجد في الولايات المتحدة - على الرغم من وجود جماعة ضغط دينية نافذة تدين جميع الأبحاث ذات الصلة

إعادة طرح قانون حظر الاستنساخ البشري لعام 2005 إلى الكونغرس، الذي قدمه في 2005/3/17 السناتور «S» براونباك» من كنساس، والذي اقترح حظرا فدراليا لا يفرق بين الاستنساخ التوالدي والاستنساخ العلاجي. وعلى الرغم من توفر الدعم القوي له، فقد أخفق مرتين منذ عام 2001 في جعله قانونا. وأعلن «براونباك» أيضا معارضته الشديدة لأي جهد في مجلس النواب لإعادة

بالأجنة - أي تسريع قدرالي أساسي ينظم أي شكل من أشكال الاستنساخ البشري، ويعكس هذا الوضع الشروح الموجود بين الذين يؤمنون إيمانا قويا بضرورة حظر كافة أشكال الاستنساخ وبين أولئك الذين يأملون أن يتناول الحظر الاستنساخ التوالدي فقط؛ كما يعكس عدم القدرة على التوصل إلى تسريع مناسب، على الرغم من الجهود العديدة والمستمرة.

وكانت آخر التطورات في هذا الشأن

The New Frontier: The Courtroom (٢٠)

الهندسة إلى جانب الأخلاق⁽¹⁾

يسعى الباحثون لمعرفة كيف يمكن الحصول على الخلايا الجذعية الجنينية من دون إتلاف الأجنة.

خط واحد من الخلايا الجذعية بهذه الطريقة تحتاج إلى مئات البيوض البشرية والتي تستقر بذاتها مشكلات شنية وأخلاقية.

لقد رجع باحثان من جامعة كولومبيا فكرة، ربما تكون أكثر واقعية، تتمثل في جني خلايا جذعية جنينية حية من الأجنة العديدة التي أنتجت خارج الجسم الحي (في الزجاج) in vitro وماتت تلقائياً. فلقد شرع W. D. لانفري و A. H. زاكز، بالعمل على اختبارات لتعرف وإسمات markers تلك التي توقف نهائياً انقسام الخلية والتي يساويها العلماء بالموت الدماغي brain death للأجنة.

ومن السخري أن مشروع الباحثين «لانفري و زاكز» سوف يتيح الحصول على ما يمكن اعتباره خلايا سليمة من أجنة ميتة، في حين يستمر إسهال الأجنة غير المستعملة الناتجة من الإخصاب بالفيترو (IVF). كما أنه يجنب الحلم الذي

يتمثل في إمكانية استنساخ خلايا جذعية جنينية يوماً ما من جسم أحد المرضى لاستعمالها في العلاج. وسوف تكون هذه الخلايا الجذعية الذاتية المنشأ في مامن من الرفض المناعي، في حين أن تلك المتأتية من أجنة ميتة لن تكون كذلك. لذا فقد نحتاج عمداً إلى مئات الآلاف الخلوطة الخلوية لإتمامها ومن ثم تخزينها، كي تقدم للمرضى جميعهم خلايا متوافقة مناعياً.

وتشتمل حلول مستقبلية على استخلاص خلايا جذعية فردية دون إيذاء

الجنين، وعلى استعمال بيوض بشرية غير مخصبة، تتأكل لتدخل في سيرورة قصيرة الأمد، تشابه تشكل الجنين. وهناك طرق أخرى مباشرة، تجنب كليا

الاقتراب من الجنين. وعوضاً عن ذلك تُجبر الخلية الجذعية البالغة للعودة في تمايزها dedifferentiate أو تعود إلى حالتها الجنينية المتعددة الإمكان pluripotent. بيد أن هذا المفهوم يقارب في هذه المرحلة الخيمياء (الكيمياء

القديمة) alchemy أكثر من قرابه إلى الكيمياء الحيوية. وقد لخص التقرير الصادر في الشهر 2005/4 عن الأكاديمية الوطنية للعلوم في الولايات المتحدة

هذه المقاربات بأنها تبدو حالياً وكأنها مقيدة بعوائق تقنية عديدة.

لقد ظهرت دراسة نقدية نشرت في مجلة نيو إنكلند جورنال أوف ميسين، استهدفت خصيصاً مقترح «هورليات»، قد تقلل أكثر فاكثراً من أهمية هذه

الأفكار جميعها. ويجادل كل من D. ملتون و G. دالي و G. جينينكز [من جامعة هارفارد] بأن إيقاف فعل جينة واحدة لا يمكن أن يمثل «نقطة انتقالية

يكتسب فيها الجنين البشري منزلة أخلاقية». ولا توجد أي علامة مرجعية مشابهة، تطويرية أو كيميائية حيوية، يمكن أن تضفي بقينا أخلاقياً إلى

هذا النمط من المقاربات. إن إنتاج مسوخ قريانية على مستوى صناعي قد لا يرضي أولئك الذين يؤمنون بأن أي عبث بالمادة البدنية للحياة هو أمر خطا. ■

G. ستيفس

ماذا لو استطاع العلم، بهزة أنبوب اختبار، أن يطوق الاعراضات الأخلاقية على أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية؟ هناك عدة مقترحات تتيح للعلماء، من حيث المبدأ، الحصول على خلايا جذعية جنينية نفيسة دون تعريض الجنين للاذى، الذي يعد فيها يتعلق ببعض مساوياً في قيمته النفيسة للخلايا الجذعية. وبالنسبة إلى علماء التقنية الحيوية المتحمسين، تبدو هذه المقترحات جيدة بدرجة لا تصحق. وإنها كذلك في الواقع.

لقد جذب B. W. هورليات [من جامعة ستانفورد وعضو المجلس الرئاسي للأخلاق الحيوية في الولايات المتحدة، ومعتقد عنيد لمفهوم «الاحترام الأخلاقي لكرامة الجنين»] الانتباه في اقتراحه إلى ضرورة تضافر الهندسة الوراثية والاستنساخ، في مسعى يسمى النقل النووي المخاير altered

إن إنتاج ما يرقى إلى مسوخ قريانية قد لا يرضي من يعتقد بأن أي عبث بالمادة البدنية للحياة هو أمر خطا.

nuclear transfer: حيث تستخلص في أحد البرامج البحثية نواة خلية بالغة، وتجور لإيقاف عمل حية أو أكثر أساسية في أثناء تنامي الجنين. تعزل النواة عندئذ في خلية بيضية جاهزة لتنشيط كهربائياً، تماماً كما في الاستنساخ وإذا سارت الأمور كما يجب، فإن هذه الكيونة الحيوية التي يقول عنها «هورليات» إنها لن ترقى أبداً إلى المستوى الذي يمكن تسميته بدقة للكانا «الحي» ستصبح في أحسن الحالات كتلة غير منتظمة من الخلايا الجذعية، ملائمة للأبحاث العلمية ولربما للعلاجات السريرية.

لا يشاطر جميع المختصين بالأخلاقيات الحيوية حساسة «هورليات» لخلطة تلك. فمن المحتمل أن تشبه الكتلة الخلوية الناتجة وربما مسخها teratoma أي

ورما يشعأ هو عبارة عن خليط من خلايا مختلفة الأنماط: من خلايا الشعر إلى خلايا العضلة إلى خلايا الأسنان. وعلى الرغم من أنه لا يمكن تصنيفه جنيناً في

نظر العديدين، فإنه بالتأكيد يؤثر ما أسماه «ا. كاس» [رئيس المجلس الرئاسي للأخلاق الحيوية في الولايات المتحدة] العامل المنفر (المفرز) yuck factor لأنه

يتسبب بعقم الممارسات اللاأخلاقية. ولقد تسال النقاد أيضاً فيما إذا كان إنشاء شيء، هالك ومقيت عن قصد هو من الناحية الأخلاقية أفضل من إتلاف

أجنة ليس لها مستقبل. وإذا ما ترك النقص yuckiness جانباً، فمن أجل إنجاح

المضمار على أنه أنباء طيبة جداً. وتشهد على ذلك مستويات الاستثمار بهذه الأبحاث في المملكة المتحدة. وعلى المدى البعيد، فإن خسارة الخبرات والموارد في بلد يقود العالم علمياً، يعني أيضاً خسارة تقع على المرضى في العالم كله. ذلك أن التوصل إلى أسرار تقدم ممكن يتطلب جهداً عالمياً.

أما في الدول الأخرى، فإن الآرا والتشريعات متنوعة بالقدر نفسه. فأوروبا منقسمة على نفسها في هذه المواضيع؛ إذ إن غالبية الدول الأوروبية، بما في ذلك ألمانيا

Engineering Adds the Mindful (x)

(السلالات) الخلوية التي طورت قبل عام 2001، ويتوفر من هذه الخطوط الخلوية اثنان وعشرون فقط. كما أن بعض الولايات الأمريكية وضعت تشريعات خاصة بها، تحرم في بعض الحالات أشكال الاستنساخ وأبحاث الخلايا الجذعية الجنينية كافة، وتسمح في بعضها الآخر، وبخاصة ولاية كاليفورنيا، بالاستنساخ العلاجي، حتى إن هذه الولاية تعهدت بملايين الدولارات لتمويل هذه الأبحاث. وغالباً ما تنظر الدول التي تسمح بأبحاث الاستنساخ العلاجي والخلايا الجذعية إلى تخلف الولايات المتحدة في هذا

النظر في الحظر القائم على التمويل الفدرالي لبعض الأبحاث الخاصة بالخلايا الجذعية الجنينية.

إن المزج في الأمر عدم تشجيع فدرالي بمنع المختبرات الممولة من القطاع الخاص من محاولة إنشاء مستنسخ بشري، بيد أن نتيجة أي بحث من هذه الأبحاث سوف تخضع لاحقاً لموافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية، التي على الغالب لن توافق عليها.

ويمكن للعلماء الحصول على تمويل فدرالي لاستعمال الخلايا الجذعية الجنينية البشرية في أبحاثهم، ولكن فقط الخطوط

هناك حاجة إلى جهود علمية عالمية لإنجاز أسرع تقدم ممكن، ولكن الآراء والتشريعات في العالم متباعدة تباعدا عميقا.

للمملكة لم توقع على أي منهما: أي لا على المعاهدة ولا على البروتوكول. وبما أن المعاهدة والملحق لا يفرضان أي عقوبة على انتهاك هذه التشريعات، فمن المرجح ألا يكون لذلك أي تأثير مهم. فالبرتغال وقّعت المعاهدة وأقرتها رغم غياب أي تشريع وطني، مما يعطي مؤشرا محتملا إلى وجهة نظرها.

ونشاهد في الأمم المتحدة صورة مشوشة مشابهة: ففي عام 2001 شكلت لجنة للنظر في «تطوير معاهدة دولية ضد الاستنساخ التوالدي للإنسان». لقد تبين بعد أربع سنوات من توقف النقاش والتفاوض، ثم متابعتها، أن الدول الأعضاء غير قادرة حتى على الاقتراب من أي إجماع يدخل في الحظر الاستنساخ العلاجي أو يستثنيه.

وكانت منظمة الدول الإسلامية Organization of Islamic Countries (OIC) في نهاية النقاش إحدى المجموعات الأكثر تأثيرا. ويؤكد في أن جزءا من السبب وراء كون بعض الدول - التي سعت إلى حظر نمطي الاستنساخ، كالولايات المتحدة وكوستاريكا - لم يضغط بما يكفي للتوصل إلى اتفاق ما، تمثل في أن نقاش اللحظة الأخيرة كان يشير إلى أن دول المنظمة OIC كانت ستؤيد اقتراحا بديلا. وجاء الاقتراح النهائي كمبادرة من بلجيكا ودعمته المملكة المتحدة، ليعترك لكل دولة اتخاذ القرار الذي تراه مناسباً حول الاستنساخ العلاجي.

وعوضاً عن إجماع واضح، كانت النتيجة إعلانا سياسيا مبهما ريك الصياغة، ويبدو أنه يحظر أشكال الاستنساخ كافة. ونظرا لكون هذا الإعلان غير ملزم، فلن يكون له قطعا أي تأثير في الدول التي تنوي دفع الاستنساخ العلاجي إلى الأمام.

ومما يؤسف له، أن هذه النتيجة تعني أيضا أنه لا توجد رسالة واضحة إلى العلماء الخارجين عن الإجماع المتصل بأن العالم بأسره يعتقد أن الاستنساخ التوالدي غير مقبول. ■

المؤلفان

Richard Gardner - Tini Watson

كاريكر رئيس مجموعة عمل في الجمعية الملكية Royal Society تعمل على أبحاث الخلايا الجذعية والاستنساخ. ويعمل واتسن صحفيا لدى الجمعية الملكية.

الجنوبية منقسمة هي الأخرى على نفسها؛ فالأكادامور تحرم أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية ونمطي الاستنساخ كليهما. أما البرازيل فتمنع الاستنساخ، ولكن قاتونا صدر مؤخرا يسمح بأبحاث الخلايا الجذعية الجنينية وبتمويلها. وتحرم كل من الأرجنتين والتشيلي والبيرو والأوروغواي نمطي الاستنساخ، والتشريعات إما أن تسمح بالخلايا الجذعية الجنينية أو لا تغطيها. وكولومبيا فقط تسمح بالاستنساخ العلاجي، وكذلك أبحاث الخلايا الجذعية البشرية. إسرائيل وتركيا وحدهما في الشرق الأوسط لديهما تشريع ذو صلة بهذا المجال. إسرائيل تسمح بأبحاث الاستنساخ العلاجي والخلايا الجذعية الجنينية، في حين تحرم الاستنساخ التوالدي. وتحذو تركيا عمليا حذو إسرائيل، فعلى الرغم من أن أبحاث الخلايا الجذعية غير مسموح بها صراحة، فقد أغفل القانون ذكرها.

أما في القارة الأفريقية، فجنوب أفريقيا (نعم؛ لأبحاث الخلايا الجذعية، كلا؛ لتطبيقات الاستنساخ)؛ وتونس (الأبحاث الجنينية غير مسموعة بالتحديد، وكلا نمطي الاستنساخ مخطوران) هما الدولتان الوحيدتان اللتان وضعتا قوانين بهذا الشأن.

أما عن الدول التي ليست لها تشريعات وطنية، فيمكننا أخذ فكرة عن مواقفها من خلال محاولاتها العائرة، للتوصل إلى إجماع مشابه لما هو عليه على المستوى الأوروبي والدولي.

لقد أدخل المجلس الأوروبي المعاهدة الغامضة حول حقوق الإنسان والطب الحيوي، ولكن ليس من الواضح إن كانت هذه المعاهدة تحظر الاستنساخ العلاجي. ولقد وقّعت على هذه المعاهدة إحدى وثلاثون دولة من الخمس والأربعين دولة الأعضاء، ومن بين تلك الدول أقرت هذه المعاهدة خمس عشرة دولة. وفي استجابة للنقاش الذي جرى في المملكة المتحدة، والذي سبق اعتمادها التشريعات حول الاستنساخ،

وللتأثير في نتيجة النقاش، فقد وضع المجلس الأوروبي بروتوكولا إضافيا يحظر الاستنساخ البشري. ولم يكن من المفاجئ أن

النمسا وفرنسا وهولندا، وضعت تشريعات تحظر الاستنساخ التوالدي والعلاجي. ومع هذا، فإن تلك الدول لم تحضّ أبعد من ذلك كي تجاري بلدانا مثل إيطاليا وإيرلندا والنرويج والدانمرك التي حظرت أيضا الأبحاث التي تستعمل الخلايا الجذعية الجنينية البشرية. وهذا ما يؤثر التساؤل الأخلاقي المهم فيما إذا كانت هذه الدول ستسمح لمرضاها بالخضوع لعلاجات سيتم تطويرها في المستقبل باستعمال تقانات يعتبرونها غير مقبولة.

وتسمح بلجيكا والسويد وأسبانيا بالاستنساخ العلاجي وباستعمال الخلايا الجذعية البشرية في الأمل ذاتها التي يعمل بها في المملكة المتحدة، وهناك حاليا ضغط شعبي في كل من ألمانيا وإيطاليا لتتبع تشريعاتهما، في حين أن إيرلندا تقوم بذلك فعلا.

وتختلف الصورة كليا في آسيا، حيث تتبع كل من اليابان والصين وسنغافورا وكوريا الجنوبية نهج المملكة المتحدة. بينما تتبنى الهند أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، وذلك كما تحقق مؤخرا في اللقاء الهندي - البريطاني الذي نظمته الجمعية الملكية، بهدف إلى إنشاء تعاون دولي في هذا المجال. ولكن حتى الآن لاتزال الهند تفرض حظرا على الاستنساخ التوالدي والعلاجي.

وكما هي الحال في أوروبا، فإن أمريكا



المشروب السامي البريطاني في الهند، سير 11. أرلر (في اليمن) يتحدث مع «ك. فيجايرا كاثان» مدير المركز الوطني للعلوم البيولوجية في خلال ورشة عمل في الشهر 2005/4، حول الخلايا الجذعية. وتنوي المملكة المتحدة نقل بعض أبحاثها عن الخلايا الجذعية إلى الهند.

عدد كبير من مقاربات الخلايا الجذعية

قويت أبحاث الخلايا الجذعية في العالم برود أفعال مختلفة، تراوحت من الحماس، كما في المملكة المتحدة، إلى الشك والنفور، وعلى الرغم من تزايد القوانين الدولية المتسامحة، فلا يظهر إجماع حول دعم هذه الأبحاث حتى لدى الدول التي تم انتقادها في هذا العرض، والتي تعتبر تقدمية فيما يتعلق بموضوع الخلايا الجذعية. فمثلاً، تقدم حكومة الولايات المتحدة مبالغ ضخمة (550 مليون دولار) لأبحاث الخلايا الجذعية؛ بيد أن المبلغ المخصص لدراسات الخلايا الجذعية الجنينية البشرية لا يتجاوز 24 مليون دولار، وهذا أعلى بقليل مما تنفقه دول أخرى ذات ميزانية أقل بكثير من الولايات الأمريكية.

وتختلف الدول أيضاً في اختيارها لنوع الرقابة التنظيمية التي تمارسها، فلبعض قوانين تنسخ أو تحظر نوعياً بعض الممارسات المترافقة مع أعمال الخلايا الجذعية الجنينية البشرية كالاستئناس العلاجي، والبعض الآخر يترك مراقبة هذه التجارب للأعراف الشرعية، وقد أبدى الناقدون قلقهم حول عدم اتساق النظم الناتجة؛ فقد لاحظ أحد الباحثين أن تمويل الاتحاد الأوروبي للأبحاث أوجد وضعاً غريباً في ألمانيا، حيث يستطيع العلماء، التقدم بمشاريع تعتبر رسمياً غير قانونية. (تمثل أرقام التمويل القيم التقديرية، بالدولار الأمريكي. للإنفاق السنوي الحالي على جميع أبحاث الخلايا الجذعية البشرية، ما لم يذكر غير ذلك).

> بيرسلي



أستراليا

عدد خطوط الخلايا الجذعية
الجنينية المتبرية المنشورة: 1

إنتاج خطوط خلوية جديدة
مسموح به بشروط

الاستئناس العلاجي: محرم

عدد الباحثين: 250-200

التمويل الحكومي: 90 مليون دولار
يتصرف مركز الخلايا الجذعية
الاستراتيجي للإنفاق حتى عام 2011

المملكة المتحدة

عدد خطوط الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المنشورة: 3

إنتاج خطوط خلوية جديدة: مسموح به

الاستئناس العلاجي: مسموح به

التمويل الحكومي: تحت 80 مليون دولار

التمويل الخاص: 20-15 مليون دولار.

اتفقت إنكس وليم ترست Wellcome Trust وهدفا، ومنذ عام 2002، سيجل 12 مليون دولار سنوياً
منح أول امتياز لأبحاث الخلايا الجذعية البشرية عام 1996
يجوز قانون الإحصاء البشري وعظم الأجنة لعام 1990
للمملكة، تمويل أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية
بشكل من
منح أول امتياز لأبحاث استئناس الإنسان في المملكة عام
2004. وقد أعلن الحاصلون على الامتياز في الشهر 2005/5 عن
أول جنين بشري مستنسخ في المملكة

السويد

عدد خطوط (سلالات) الخلايا الجذعية الجنينية المتبرية المنشورة: 0

إنتاج خطوط خلوية جديدة: مسموح به

الاستئناس العلاجي: مسموح به اعتباراً من الشهر 2005/4

عدد الباحثين: 400

التمويل الحكومي: 10-15 مليون دولار.

التمويل الخاص: تسهم أكبر شركتي أبحاث في الخلايا الجذعية
بالسويد هما الشركة سيلاريتس والشركة نيرونوفا Cellartis
and NeuroNova، بمبلغ 35 مليون دولار يصرف سنوياً

تحتفظ الشركة سيلاريتس، المصدر الوحيد والأكبر في العالم
لخطوط محددة نشأ من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، بأكثر
من 90 خطاً، منها اثنتان مصادق عليهما من قبل المعاهد الوطنية
للصحة في الولايات المتحدة

الاتحاد الأوروبي

إنتاج خطوط خلوية جديدة من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية يسمح به فقط من أجله الإخصاب في المختبر غير المستعملة في البلاد التي يسمح فيها بإنتاج تلك الأجنة

الاستئناس العلاجي محرم

التصويل: 170 مليون دولار لأبحاث الخلايا الجذعية على مدى السنوات الثلاث الماضية، و 660 مليون دولار فقط لأبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية

أوصى في بعض الدول الأعضاء:

فرنسا: إنتاج خطوط من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية مسموح به من أجل الإخصاب في المختبر اعتباراً من الشهر 2004/10؛ التصويل الحكومي 4 ملايين دولار

ألمانيا: يسمح فقط بالعمل على خطوط من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية التي تم الحصول عليها قبل عام 2002؛ التصويل الحكومي 4 ملايين دولار

لقداسة: تسمح بالأبحاث على أجنة الإخصاب في المختبر؛ التصويل الحكومي 5 ملايين دولار؛ إيطاليا: أوصى استفتاء، 2005/8/12؛ بالسماح بالأبحاث على أجنة الإخصاب في المختبر؛ التصويل الحكومي 6 ملايين دولار

يزيد الاتحاد الأوروبي تمويله لمشاريع الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، رغم ضاعفة الميزانية أكثر للأبحاث

سنگافورا

إنتاج خطوط خلوية جديدة مسموح به إذا ما أُنشئت الأجنة خلال أربعة عشر يوماً

إنتاج خطوط خلوية جديدة مسموح به إذا ما أُنشئت الأجنة خلال أربعة عشر يوماً

الاستئناس العلاجي مسموح به كما هو وارد أعلاه

عدد الباحثين: قرابة 150 في المؤسسات الصناعية والأكاديمية

التمويل الحكومي: قرابة 10 ملايين دولار من مصادر حكومية وخاصة

التمويل الخاص: قرابة 10 ملايين دولار

هذا الاقتراح حكومي متوقع يسمح بإنتاج 80 مليون دولار خلال السنوات الأربع القادمة

الولايات المتحدة

عدد خطوط الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المنشورة: 46

إنتاج خطوط خلوية جديدة مسموح به، ولكن تمويله فدرالياً محظور

الاستئناس العلاجي شرعية هذا الاستئناس تختلف من ولاية لأخرى

عدد الباحثين: 400

التصويل الفدرالي الحكومي: قرابة 550 مليون دولار لأبحاث الخلايا الجذعية كافة (24 مليون دولار لأبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية)

التصويل الخاص: قرابة 200 مليون دولار

التصويل الحكومي على مستوى الولاية:

كاليفورنيا: 3 بلايين دولار خلال عشر سنوات؛ نيو جيرسي: 11.5 مليون دولار (إضافة إلى 300 مليون دولار مقترحة)

ويسكونسن: 375 مليون دولار مقترحة

إلينوي: بلايين دولار مقترح

كونكتيكت: 20 مليون دولار مقترحة

تسمح الحكومة الفدرالية باستعمال تمويلها فقط على الخطوط الأثنين والعشرين من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية التي أنتجت قبل الشهر 2001/8، سوف تخفف التشريعات المقترحة بعض القيود الفدرالية

كوريا الجنوبية

عدد خطوط الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المنشورة: 29

إنتاج خطوط خلوية جديدة: مسموح به بعد موافقة سابقة من وزارة الصحة لكل حالة

الاستئناس العلاجي مسموح به بعد موافقة مسبقة من وزارة الصحة لكل حالة

عدد الباحثين: 300-400

التصويل الحكومي: نحو 10 ملايين دولار

التصويل الخاص: نحو 50 مليون دولار

أول من أنتجت خطأ من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية من جنين مستنسخ، وفي الشهر 2005/5 أعلن عالم كوري جنوبي " أنه أنتج أحد عشر خطأ جديداً من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، مستنسخة من مرضى لديهم أضرار في النخاع الشوكي ومن مصابين بداء السكري الشبابي ومن مصابين باختلال في الدم

البرازيل

إنتاج خطوط جديدة من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية مسموح به اعتباراً من الشهر 2005/3 من أجل الإخصاب في المختبر التي لا يتجاوز مدة حملها ثلاث سنوات

الاستئناس العلاجي محظور

التصويل الحكومي: 4.5 مليون دولار سنوياً ممتدة من قبل وزارة الصحة ووزارة العلوم والتقانة

إسرائيل

عدد خطوط الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المنشورة: 1

إنتاج خطوط خلوية جديدة: مسموح به

الاستئناس العلاجي مسموح به

التمويل الحكومي: قرابة 5 ملايين دولار

التمويل الخاص: 10-30 مليون دولار

قاد الباحثون الإسرائيليون إحدى الفرق البحثية التي كانت الأولى في عزل الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، وقد كانوا أيضاً أول من أوضح أن الخلايا الجذعية الجنينية البشرية يمكن أن تتغير إلى خلايا قلب، ويمكنها أيضاً أن تندمج مع النسيج

الصين

إنتاج خطوط جديدة من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية: مسموح به

الاستئناس العلاجي مسموح به

عدد الباحثين: 300-400

التصويل الحكومي والخاص: قرابة 40 مليون دولار

أفادت مجلة نيتشر بأن الصين تملك على ما يبدو، أكثر الأجواء تحمراً في العالم فيما يخص أبحاث الأجنة، مع القليل من المعارضة العامة لهذه الأبحاث ولا يوجد أي قانون يتحكم في أبحاث الخلايا الجذعية، غير أن توصيات وزارة الصحة تصادق عليها

(1) في الشهر 2005/12، تعرض هذا العالم لانتقادات شديدة حول ادعائه بأنه يمتلك دليلاً على أن فريضة استطاع تكوين خلايا جذعية مخصصة لعلاج بعض الأمراض، وذكرت جامعة سيول الوطنية أنها ستكلف التحقيق في ملف هذا العالم بعد الاعتراف بأن بعض الفقرات الرئيسية في أبحاثه ملفقة. (التحذير)

الخلايا الجذعية:

الصين: التقرير الوطني

إن القوانين الإيجابية المتساهلة والتوظيف الواسع في هياكل البحث المتساهلة يدعمان الجهد الآسيوي الأعظم في الخلايا الجذعية.

والصين مصدر للخلايا البيضية oocytes أفضل مما يوجد في الغرب، إضافة إلى مهارات رائعة في النقل النووي، كما يقول «ماونتفورد» [الرئيس التنفيذي للشركة ستم سل ساينسز Stem Cell Sciences في أدينبورغ]. ويضيف: «هناك الأيدي العديدة الشديدة البراعة في منابذة تلك النقط الصغيرة (البويض البشرية)».

ولكن العمل بالخلايا الجذعية البالغ يسود المشهد الصيني. «هناك تركيز كبير جدا على نقل النتائج إلى المستوى السريري، وهو عمل أكثر قبولا في الصين منا في الولايات المتحدة وأوروبا»، كما يقول «ميثجر» من كلية الملك بجامعة لندن. «ولسوف تسبق معالجة بالخلايا الجذعية في الصين نظيرتها في الغرب».

ويتجسد المثل الأكثر بريقا في «تسو» من مستشفى هوانشان الذي هو جزء من جامعة فودان في شانغهاي. يعمل «تسو» على خلايا جذعية عصبية بالغة، تستخلص من نسيج دماغي معزولة من مرضى يعانون جروحاً مفتوحة في الرأس (حالة محلية شائعة مصدرها جروح عيدان الطعام chopsticks حيث يغرز عادة عود القصب المذهب في محجر العين إلى داخل الرأس - غالبا خلال نقاش حاد في أثناء الطعام - وعندما يسحب العود، تبقى كمية كافية من نسيج الدماغ عالقة به، تكفي لتكون مصدرا لخلايا جذعية عصبية) لقد حصل «تسو» على نتائج مشجعة من تجربة سريرية أغترست فيها ثمانية مرضى من هذا النمط خلاياهم الجذعية العصبية بعد تنميتها ثم أغترسها في موقع الآفة. ولقد أصاب هؤلاء نجاها مرموقا، يفوق ما حققه ثمانية آخرون عملوا كمجموعة شاهد (ضابطة)، أجريت لهم عملية الدماغ المفتوح.

إنما دون التطعيم بالخلايا الجذعية. «كوكسوز»

قيادية جيدة، ولكن على ما يبدو ثمة فجوة مؤقتة في المستوى المتوسط بين الباحثين الكبار والشباب؛ أي في أطر الباحثين العاملين من حملة الدكتوراه الذين يشكلون قاعدة البحث العلمي في الغرب. ويوجد في الصين قليل من الشركات الناشئة العاملة في مجال الخلايا الجذعية، وما زال الاتجار بها في طوره المبكر.

يستفيد باحثو الخلايا الجذعية في الصين، كما هي حال نظرائهم في الدول الآسيوية الأخرى، من بيئة أخلاقية وتشريعية، هي بشكل عام أكثر ملاءمة للباحثين مما يتوافر حتى في أكثر الدول الغربية تسامحا. «ويوازي الوضع الذي يمنح للجينين في الصين مثيله في المملكة المتحدة، غير أن القوانين تعالج هنا بلمسات أخف»، كما تقول «ريتشاردسن» [أستاذة القانون العام في كلية كوين ماري بجامعة لندن]. وتتابع قائلة: «تستعمل غالبية مجموعات أبحاث بالخلايا الجذعية الجنينية في الصين أجنة طازجة».

إن الصين ممثلة جيدا بأعمالها المتعلقة بالخلايا الجذعية الجنينية، إذ رسّخت على الأقل عشرة خطوط من الخلايا الجذعية الجنينية، وتعمل على الاستنساخ العلاجي،

للصين أكبر جهد آسيوي في أبحاث الخلايا الجذعية، مع تركيز خاص على دفع الابتكار في المعالجات القائمة على الخلايا الجذعية البالغة باتجاه التجارب السريرية. وعلى الرغم من عدم وجود إحصائيات جامعة حول الخليط ذي التسارع المتنامي، الذي تملكه الصين في مبادرات الخلايا الجذعية، فإن الصين لديها ما لا يقل عن 300 باحث في 30 معهدا مختلفا.

في أواخر عام 2004 زار وفد من وزارة التجارة والصناعة في المملكة المتحدة، أرسل للإطلاع على أبحاث الخلايا الجذعية في آسيا، فرّقة من المختبرات الصينية، واستنتج أن «كل موقع من المواقع التي شوهدت مجهز تجهيزا جيدا، ولديه التمويل الكافي والأطر البحثية اللازمة، التي ترقى إلى مستوى مثيلاتها في المملكة المتحدة، وغالبا ما كانت أفضل». تضم مختبرات الخلايا الجذعية الصينية قيضا من الباحثين الشباب المتحمسين، عاد كثير منهم إلى البلاد بعد أن قضوا في أوروبا وأمريكا الشمالية فترة تدريب بعد التخرج. كما أن كبار الباحثين، الذين عملوا في الخارج أيضا، يتمتعون بقدرات



«إ. ويلز» (في الوسط) من اليوكيركي من نيو مكسيكو. تراقب إحدى فنيات المختبر في تيانجين بالصين، وهي تلخص عينة من الخلايا الجذعية. ذهبت «ويلز» إلى الصين بعد اكتشاف الأطباء عياداً من الخلايا الجذعية من طفل صيني قد تتوافق نسيجها مع جسم ابنتها «كيللي» التي تعاني فقر الدم اللاتنسجي aplastic anemia.

... شرقا ... وغربا

المملكة المتحدة: التقرير الوطني

مواقف شعبية إيجابية تسمو بالعلميين البريطانيين فوق شجار هدام.

العالم، يقود المبادرات الدولية في توصيف خطوط الخلايا الجذعية الجنينية كافة والموجودة حاليا في العالم، وفي تعرف السمات البارزة فيها، وفي تقويم درجات التنوع التي قد تبديها الخطوط المختلفة.

ولكن يبقى هناك وجه غير مشرق في المملكة المتحدة، يتمثل بتمويل القطاع العام لأبحاث الخلايا الجذعية إذا ما نُظر إليه بالمعايير الدولية. ففي عام 2002، أعلنت الحكومة عن توظيف 40 مليون جنيه إسترليني (أي 70 مليون دولار) في علوم الخلايا الجذعية التي تجرى في مراكز أبحاث الدولة، ومع أن هذا المبلغ قد دُعم بتمويل إضافي آخر، فإن التزام بريطانيا المالي تجاه تمويل أبحاث الخلايا الجذعية يقل عن تمويل بعض منافسيها في منطقة المحيط الهادئ الآسيوية، وأيضاً في بعض الولايات الأمريكية.

ومع أن بريطانيا هي موطن لبعض الشركات الصغيرة العاملة في مجال الخلايا الجذعية، مثل ري نورون ReNeuron وستم سل ساينسز Stem Cell Sciences، فإن قليلا من الاستثمار يأتي من القطاع الخاص التقليدي، مثل الرأسماليين أصحاب المشاريع ومديري التمويل، الذين يرون أن الاستثمار في هذا المجال بعيد الأجل ومحفوفاً بالمخاطر (انظر: «خلية عصبية على المستثمرين» في هذا التقرير الخاص). وفي محاولة لردم فجوة التمويل هذه، قامت مجموعة معتبرة من العلماء ورجال الأعمال بتأسيس جمعية الخلايا الجذعية في المملكة المتحدة، وهي منظمة لأرباحية، تحاول جمع 100 مليون جنيه لدعم تطوير الخلايا الجذعية بقصد المعالجة، وذلك بالتعاون مع البرامج الحكومية والخيرية الحالية.

خلافًا لما يحدث في بلدان أخرى، ليس من المواضيع التي تختلف فيها الأحزاب. وقد أشاد باحثو الخلايا الجذعية الذين اتوا إلى بريطانيا من دول أخرى بأهمية الموقف العام والموقف السياسي الداعم لأعمالهم. وهؤلاء هم: من الولايات المتحدة R. بيدرسن إلى جامعة كامبريدج و S. مينجر إلى كلية الملك بلندن؛ ومن ألمانيا M. شتويكوفتش إلى جامعة نيوكاسل.

إن الموقف الإيجابي لحكومة المملكة المتحدة (مدعوماً بالحماس الأكبر من الموقف الاسكتلندي) التي شرعت بنجاح في أن تصبح بيئة إقليمية مواتية لعلوم الخلايا الجذعية - قد منح بريطانيا بنية تحتية جيدة في هذا المجال. فبريطانيا تملك أول بنك للخلايا الجذعية في

عندما بدأ السباق الدولي حول أبحاث الخلايا الجذعية في نهاية عام 1990، وضع إعلان اثنان من المملكة المتحدة في موضع قوي: الأول القوة التاريخية لعلم الأجنة وللعلوم ذات الصلة في المملكة، والأخر الإطار التنظيمي الراسخ.

إن أي باحث يعمل على الأجنة البشرية المبكرة مدين علميا P. ستيتو و R. إدواردز، الثاني البريطاني الذي طور تقنيات الإخصاب في المختبر (IVF)، التي أدت إلى ولادة أول طفلة أنابيب في العالم هي «لويز براون» عام 1978. وقد أثارت هذه التقنية نقاشاً حاداً حول مدى أخلاقية استعمال أجنة احتياطية spare في الأبحاث، وهو نقاش بلغ الذروة في عام 1984 مع صدور التقرير الرسمي لـ R. وارنوك الذي شكل نقطة تحول وأوصى بالسماح بإجراء أبحاث يجري التحكم فيها على الأجنة البشرية حتى اليوم الرابع عشر بعد الإخصاب، وهو حد بقي معياراً عالمياً واقعياً.

لقد جسدت استنتاجات «وارنوك» بعد ست سنوات في إطار قانون ينظم مجال هذه الأبحاث، عند إنشاء هيئة الإخصاب وعلم الأجنة البشري. وهكذا، عندما برز مجال الخلايا الجذعية الجنينية والاستنساخ، كان الوضع جاهزاً في المملكة المتحدة لتعديل نشره القانوني بغية السماح للأبحاث على الخلايا المشتقة من الجنين البشري لأغراض العلاج (بما في ذلك الأجنة المستنسخة)، ولتحرم في الوقت ذاته الاستنساخ التوالدي. وهناك مشروعات قيد التنفيذ، قائمان على أبحاث الاستنساخ العلاجي في كل من جامعة نيوكاسل ومعهد روزلين.

وفي بريطانيا، وعلى الرغم من وجود مجموعة ضغط واضحة ضد الإجهاض ومعارضة لأبحاث الأجنة، فإن هذه المجموعة لا تمثل إلا أقلية. إن الخلايا الجذعية والاستنساخ في المملكة المتحدة،



يعمل باحثاً في مختبر بيولوجيا الخلايا الجذعية في كلية الملك بجامعة لندن على خلايا جذعية جنينية بشرية.

كوكسون»

STEM CELLS: EAST... AND WEST (x)

مناورة كاليفورنيا

صفق البيولوجيون للولاية الذهبية (ولاية كاليفورنيا) لمغامرتها بتقديم ثلاثة بلايين دولار، خصصتها لعلم الخلايا الجذعية، إلا أن <W.W. كيبس> صرح بأن هذه المغامرة قد تفوق تقديراتهم.

دولار تبرع بها شخص لم يعلن اسمه. وفي عام 2004 انضمت إلى هذه المعركة جامعة هارفارد بمعهدا الخاص بالخلايا الجذعية. وعلى الرغم من هذه الجهود، يقول <كريغشتاين>: «من الصعوبة بمكان أن يتورط المرء بالعمل في مجال قد تُعتبر الأبحاث التي يريد القيام بها جريمة في المستقبل (وفي الواقع، أصبحت بعض الولايات مثل أريزونا ويسلفانيا تعتبر اشتقاق خط جديد من الخلايا الجذعية الجنينية البشرية بمثابة جريمة).» وتقول <M. كارنيتز> [التي تدير برنامجا بيولوجيا للخلايا الجذعية بسان دييغو]: «فيما يتعلق بباحث شاب يبدأ العمل في مختبر جديد يركز على الخلايا الجذعية الجنينية، لاشك في أن عمله محفوف بمخاطر هائلة. وإذا ما قررت المعاهد الوطنية للصحة تسريحك، فإلى أين تذهب؟ يا للعار. إنني أعرف عددا من العلماء الجيدين الذين يتحاشون هذا الحقل جملة وتقصيلا، نظرا لما يزرخ به من مضامين أخلاقية.» ونتيجة لتجميد الموضوع من قبل الحكومة

للباحثين استخدام أي تمويل من المعاهد الوطنية للصحة أو غيرها من الوكالات الفدرالية لإجراء تجارب على أي من خطوط الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، التي يبلغ عددها نحو 200، المشتقة منذ الشهر 2001/8 عندما وضعت القواعد موضع التنفيذ. وللأسف، فإن جميع خطوط الخلايا الجذعية الجنينية الاثنى والعشرين التي تم إنتاجها قبل ذلك التاريخ، كانت ملوثة بجزيئات غير بشرية قد تؤدي إلى حصول هجمة مناعية تحد كثيرا من استعمالها في الطب. «لاشك أن موقف المعاهد الوطنية للصحة، إضافة إلى المناخ السياسي، أحدثا تثبيطا حقيقيا في هذا الميدان»، كما صرح <A. كريغشتاين> [من جامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو]. وللالتفاف على القيود الفدرالية، أنشأت هذه الجامعة برنامجا لأبحاث الخلايا الجذعية عام 2002 بخمسة ملايين دولار. جاءت هبة من الرئيس السابق لشركة إنتل <A. كروف>، وعُهد إلى <كريغشتاين> بإدارة هذا البرنامج. كما أنشأت جامعة ستانفورد برنامجا مشابها يبلغ 12 مليون

في الشهر 2004/11 الماضي، انتخب سكان كاليفورنيا بطلا فعلا لإصلاح ميزانيتهم المقتصة، وفي الوقت نفسه وافقوا على استئانة بلايين الدولارات بغية القيام بأبحاث تتناول المداواة المعتمدة على الخلايا الجذعية الجنينية. لقد راهن دافعوا الضرائب على المغامرة في هذا المضمار على الرغم مما تتطوي عليه من مخاطر جسام: إذ من الواضح أن هذا الموقف لا يعبر عن حالة نفور من تحمل المخاطر، ولكن أهالي كاليفورنيا، ياندفاعهم للقيام بمبادرة أحجم عنها الكونغرس، قد قاموا بتجربة سياسية لها عواقب على المستوى الوطني. ومع أن الكثير من البيولوجيين الباحثين في مجال الخلايا الجذعية أظهروا اغتباطهم، فإن البعض أبدى قلقه من أن هذا التسبيل للزلل في السياسة، قد يصدع هذا المجال ويؤخر التقدم العلمي ويبعث أمالا غير واقعية لدى الجمهور: ذلك أن حجم هذه المخاطر لم يتضح بعد. لقد ناكذ لدى أكثر علماء هذا المجال على الأقل أن النظام السابق لم يكتب له النجاح. فوفقا للقواعد التي وضعها الرئيس «بوش» لا يمكن





لقد نجحت الحملة من أجل الاقتراح 71، لكن الحملة لدعم أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية مازالت في بدايتها.

الأشخاص المدربين، الذين يصنعون استعمالها بدقة في تجارب مبتكرة لمعرفة كيفية نموها وتمايزها. ويوجد في الولايات المتحدة على الأكثر بضع عشرات من هؤلاء الأشخاص، هذا ما صرح به البيولوجي «G. كيلر» وهو باحث في الخلايا الجذعية بكلية طب ماونت سيناي في مدينة نيويورك.

ويقول «كريكشتاين» إن التنافس على هؤلاء الأشخاص يزداد بسرعة، فإضافة إلى اجتذابهم دولياً، «تتحاول الآن معاهد كثيرة في كاليفورنيا إقامة أو تقوية برامج قائمة، والجميع ينظرون إلى المرشحين أنفسهم مما يرفع تكاليف اجتذاب خيارهم.»

ويتنبأ «كيلر» قلق من أن «صب المال في حقن لا يمتلك حتى الآن العدد الكافي من الموهوبين سيصبح هدراً وتبذيراً.»

١١) bioprocessing ١٢) هو الطب الذي يعتمد على الماداة بالخلايا الجذعية عوضاً عن الأدوية التقليدية المستخلصة حالياً (التحرير)

المعهد إنفاق 300 مليون دولار في السنة على أبحاث الخلايا الجذعية لمدة عقد من الزمن. وهو نمو مفاجئ بالنسبة إلى مجال بازغ ومثير للجدل.

لقد أطلق هذا التحرك أجراس الإنذار في مكاتب عمداء الكليات ومشري الولايات في أنحاء البلاد. فقد قام حاكما وسكوسين ونوجيرسي بحملات سريعة لدعم أبحاث الخلايا الجذعية وتمويلها في جامعاتهما كما تقدم للشرعون مشاريع قوانين تسمح بإجراء اختبارات على الخلايا الجذعية الجنينية في الولايات التي تمتلك التقانات البيولوجية العالية مثل ميريلاند وماساتشوستس (انظر الجدول الزمني في الأسفل).

عندما تمت الموافقة على الاقتراح 71، قال «R. أليمر» <عميد كلية طب جامعة ييل>: «أصابنا القلق من احتمال مواجهة صعوبات لاجتذاب قادة من أصحاب المواقب إلى كونكتكت للعمل في برنامجنا الخاص بأبحاث الخلايا الجذعية». وقد تمكن هو وغيره من إقناع حاكم الولاية بدعم مشروع القانون الذي يتغاضى عن الأعمال التي تشمل بعض الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، ولتقديم 10 ملايين دولار سنوياً لعلم الخلايا الجذعية. وحتى الآن، وكما صرح «أليمر»، فإن مشروع القانون لم يواجه أي معارضة منظمة لكن يتحتم أن يصل مرحلة التصويت إن موضوع الخلايا الجذعية البشرية جديد كلياً لدرجة يتعذر فيها العثور على

الفدرالية يقول «M. راو» <من المعهد الوطني للشيخوخة> «لقد تخلت الولايات المتحدة عن الزعامة في هذا المجال الجديد إلى دول أخرى. وعندما نتكلم عن واسمات markers جديدة وأعداد لتحديد هوية خلايا جذعية، فإننا نشير إلى أعمال تمت في إنكلترا. وعندما نتكلم عن التقدم في المعالجة الأحيائية» ونقوم الإنتاج، فإننا ننظر إلى إسرائيل أو سنغافورا. وأنا الآن أريد عما أقوم به لحضور مؤتمرات غنية في الصين بغية الاستماع إلى أعمال لم تنشر بعد.» ويقول «راو» إن كشيروا من البيولوجيين أصيبوا بخيبة أمل «لأن موسم الولايات المتحدة بسهولة تزعم قيادة هذا النوع من العلم. فقد اكتشفت هذه الخلايا هنا، ولدينا أفضل البنى التحتية لتحليلها، ولكننا لم نتمكن من وضع تصور لسياسة جماعية لها.»

هذه - بالضبط - هي المشكلة التي تسعى كاليفورنيا إلى حلها. إن رد فعل هذه الولاية على القيود التي وضعها الرئيس «بوش» هو إنشاء معهدها الجديد للطب التجديدي Institute for Regenerative Medicine (IRM) الذي أقامه 59% من الناخبين الذين وافقوا على الاقتراح رقم 71 في نهاية الشهر 2004/11. إيان اقتراح الولاية، حيث اتفق على أن يدار المعهد من قبل هيئة صغيرة من نحو 40 عالماً (تم التعاقد مع ثلاثة منهم فقط بنهاية الشهر 2005/4)، إضافة إلى بعض الإداريين، ولجنة إشراف قوامها 29 أكاديميا ورجل أعمال وناشطون طبيون. إن غاية

2005

<p>2005/9</p> <p>بدء بناء مركز أبحاث الخلايا الجذعية بمبلغ 150 مليون دولار في نوجيرسي</p> 	<p>2005/5</p> <p>وافق المجلس التشريعي لولاية ماساتشوستس بأصوات كافية على مشروع قانون يسمح بإجراء أبحاث على الخلايا الجذعية الجنينية، ويطلب مفعول اعتراض متوقع من قبل حاكم الولاية.</p>	<p>2005/4</p> <p>ألقى مجلس شيوخ ميريلاند مشروع قانون وافق مجلس النواب عليه لإنشاء برنامج لأبحاث الخلايا الجذعية بمبلغ قدره 25 مليون دولار سنوياً بشمول من الولاية.</p>	<p>2005/3</p> <p>إنشاء معهد لبيولوجيا الخلايا الجذعية في جامعة كاليفورنيا - لوس أنجلوس</p> <p>رفضت المحكمة العليا في كاليفورنيا دعويين تعترضان على الشرعية الدستورية للمعهد CIRM</p> <p>اقترح مراقب التفقات في إيلينوي إصدار سندات بـ 100 مليون دولار وغرض ضريبة على عمليات التحويل لتحويل معهد الخلايا الجذعية بالولاية</p>	<p>2005/2</p> <p>البحر حاكم ماساتشوستس «رومي» على مشري الولاية بتجريم كل من يشن خطوفا جديدة للبحث في الخلايا الجذعية البشرية</p> <p>أعيد قانون دعم الجذعية إلى الكونغرس من قبل 186 عضواً من مجلس النواب مع تأييد كبير من مجلس الشيوخ</p>	<p>2005/1</p> <p>صرح العلماء بأن جميع خطوط (أو مشاريع) الخلايا الجذعية البشرية التي وافقت عليها القاعد الوطنية للصحة، أصابها ثلوث بمستويات غريبة</p> 
<p>شريف 2005</p> <p>خاطب المعهد CIRM لتقديم أول متحة.</p>					<p>أقر حاكم نوجيرسي «كوي» جمع مبلغ 380 مليون دولار لمعهد للخلايا الجذعية في الولاية.</p> <p>أقر عضو مجلس الشيوخ لولاية نيويورك «D. باترسون» إنشاء برنامج للخلايا الجذعية بمبلغ 100 مليون دولار على مدى عشر سنوات.</p>

العلميون يتبعون المال

إن هجرة العقول من الولايات المتحدة تتحول إلى تدفق على كاليفورنيا.

ليؤسسوا مختبرات مستقرة فيما وراء البحار.

فإذا كان هناك استنزاف لأمعة الأمريكيين الباحثين في موضوع الخلايا الجذعية، فإن الإغراء المتمثل بثلاثة بلايين دولار في كاليفورنيا، يبدو أنه قلب مسار التدفق. «هناك عدد من العلماء البارزين في حقننا أجروا مقابلات في كاليفورنيا للـ وظائف قيادية»، كما تقول M. كارينتر [وهي رائدة أمريكية في هذا الميدان، انتقلت في خطوة مفاجئة منذ سنتين إلى معهد روبرت للأبحاث في انشايو بكندا]. وتضيف: «إن جامعة كاليفورنيا في إرفين تجتذب الباحثين بطريقة هجومية، وكذلك تعمل ستانفورد». وقد قررت «كارينتر» ذاتها العودة إلى الولايات المتحدة لترأس أبحاث الخلايا الجذعية في CyThera. وهي شركة مبتدئة في سان دييغو. ولم تكن الموافقة على الاقتراح رقم 71 السبب الوحيد لعودتها، كما تقول، ولكنه كان عاملاً مهماً في ذلك.

ففي الواقع، تُعزّي الولاية الذهبية الكثيرين ممن يعملون في هذا الحقل. بمن فيهم من يعمل في امكنة أخرى بالولايات المتحدة، ويقول «جرو»: «أخذت الأمر تزداد صعوبة في المعاهد الوطنية للصحة فيما يتعلق بتجنيد باحثين جدد، فضلاً عن أننا نخسر الكثيرين (الذين يذهبون إلى كاليفورنيا)». إذ إن «أ. شيو» [التي كانت ترأس برنامجاً للأبحاث في الخلايا الجذعية في المعاهد الوطنية للصحة] غادرت في الشهر 2005/4 لتعمل في المعهد CIRM. كما إن «د. باتي» [المدير الحالي لمعهد الصمم وغيره من اضطرابات الاتصالات] قال بأنه تقدم إلى المعهد CIRM يطلب العمل رئيساً له.

وقد أوضح «جرو» بقوله: «ليس بوسعنا المنافسة عن طريق إغرائهم بالمال، وكثير من الناس أصبح غرسية القلق حيال توافر الاعتمادات الفدرالية في المستقبل، فأتنا نقسم تعرضت للإغراء لالتحق بقوة كاليفورنيا».

ومع أن الانجذاب نحو الغرب هو الأقوى فيما يتعلق بالباحثين الكبار، فعلى ما يبدو لم يستثن الانجذاب العلماء الشباب أيضاً. فقد قال «أ. كريغشتاين» [الذي يرأس برنامجاً تدريبياً على الخلايا الجذعية في جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو]: «لقد عينا مجموعة من الطلبة للجنة القادمة، اعتقد أن الاقتراح 71 جعل بعضهم يفضل هذه الجامعة على معاهد في شرق البلاد».

«تنافس الولايات المتحدة مع سنغافورا وأستراليا والمملكة المتحدة - فهناك أيضاً موارد ضخمة والقيود أقل بكثير»، كما تقول «كارينتر»، التي أضافت: «قبل التحاقني بسي نيرا، كنت اعتبر تلك الدول خيارات لي. لا ريب أنها مباراة، وسيكون من دواعي الفضول أن نرى كيف سننتهي».

W.W.G.

في الشهر 2001/1، أعلن الرئيس «جوش» أن البيولوجيين الذين تمولهم الحكومة الفدرالية في الولايات المتحدة سيكون عليهم أن يعملوا ضمن قيود شديدة. وبعد ذلك بفترة قصيرة جمع «د. بيدرسن» حقايقه وشد الرجال نحو المملكة المتحدة. إن «بيدرسن» الذي أكسبته أبحاثه في جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو مكاناً في حقله يقرب من القمة، نقل مختبره إلى البيئة الأكثر حرية في جامعة كمبريدج.

لقد ثبت أن مغادرة الولايات المتحدة شكلت نقلة مهتية جيدة بالنسبة إلى «بيدرسن»، فقد عينته كميريدج في عام 2004 رئيساً مشاركاً لمعهد جديد للخلايا الجذعية، ميزانيته 30 مليوناً من الدولارات. ولم يكن «بيدرسن» المهاجر الوحيد، كما لاحظ «M. راو» [الذي يدير أبحاث الخلايا الجذعية في المعهد الوطني للشيخوخة في الولايات المتحدة]. فقد أشار «جرو» إلى كثير من العلماء الذين تركوا مناصب بيولوجية ثاقبة مجزية في الولايات المتحدة



«د. هول» [الرئيس المؤقت للمعهد CIRM] خطة لحل هذه المشكلة بتكرس مجموعة المنح الأولى للمعهد لتدريب المزيد من العلماء، وتأسيس المزيد من المختبرات. (تجدر الإشارة إلى أن القيود التي تفرضها المعاهد الوطنية للصحة تمنع العمل على مشاريع خطوط خلايا بشرية لم تتم الموافقة عليها في أي مختبر تموله الاعتمادات المالية الفدرالية).

ويقول «هول»: «إن القصد هو تشجيع المؤسسات على إنشاء برامج تدريبية متماسكة لعلوم الخلايا الجذعية». ويستتافس المنظمات على ثنائي عشرة جائزة وموعد الإعلان عنها في نهاية عام 2005، وستقدم ما يصل إلى 1.25 مليون دولار في السنة، وفقاً لحجم

سيسحب ميزانيته من خلالها.

لقد علق موضوع السندات بسبب إقامة دعويين قانونيين طعنًا في شرعية المعهد CRIM. ففي الشهر 2005/3، رفضت المحكمة العليا في كاليفورنيا سماع الدعويين، ولكنها تركت للمرعين خيار إقامتهما في محاكم أدنى درجة. وقد أقيمت إحدى الدعويين أمام محكمة عليا في الشهر 2005/4 من قبل مجموعة ضغط تدعى: المدافعون عن الشعب People's Advocates ومؤسسة الدفاع القانوني عن الحياة Life Legal Defence Foundation. حيث أكدت أن المعهد الجديد ينتهك إحدى فقرات دستور الولاية. ويقول أحد موظفي المعهد CIRM إن اللجنة المالية للولاية قد تقبل بإصدار سندات

Scientists Follow the Money (٤)

المبادرة التدريبية. ومع أن قسماً من الخمسة عشر مليوناً في السنة سيخصص لرواتب الطلبة، فإن المنح، كما يقول «هول»، يجب ألا تنفق على برامج الدكتوراه. وأنه لا يمكن لاية كلية الحصول على أكثر من منحة واحدة. ولكن متى ستبدأ أموال كاليفورنيا بالتدفق لإنجاز علم حقيقي؟ سؤال لن يتمكن «هول» من الإجابة عنه في الوقت الحاضر: لأن على الوكالة أولاً أن تبدأ بإزالة كثير من العقبات المهمة. فبعد ستة أشهر من ولادة المعهد CIRM ظل بدون مكاتب دائمة، وليس له رئيس دائم، ولا توجد لديه قائمة بأسماء الخبراء الذين سيقومون بمراجعة الأبحاث المقترحة، كما لم يحصل على تفويض بإصدار السندات التي

شبح لايسنكو

يحذر البيولوجي «إ. ويسمان»
من تكلفة القيود الأخلاقية.



تتقدم الولايات المتحدة دول العالم في الاكتشافات الطبية الحيوية والتقانات والمعالجات على جميع المقاييس. فقد ولدت في أمريكا تقانات الدنا DNA المشابو للمثابة الجينية، وانتجت أعدادا وافرة من الأدوية وأدوات التشخيص بوساطة كينونة تجارية جديدة، هي التقانة الحيوية البازغة.

تتفي مرحلة حرجية من التاريخ الأمريكي كادت الحكومات المحلية والوطنية أن تحظر تقانة الدنا المشابو. ولكن عوضا عن ذلك، قضت التشريعات الجديدة بأن تتقدم الهيئات الأكاديمية والتجارية البحثية بخطىها إلى اللجان الاستشارية الوطنية والمحلية للموافقة عليها. وبذلك ازدهر البحث العلمي، إن هذا النوع من التنظيم الذي يحافظ على جوهر البحث المحرر من أقل تدخل بيروقراطي، والذي أدى إلى حماية العلماء والمجتمع بشكل ملحوظ، يمكن تسميته الطريقة الأمريكية. وتتقدم الأبحاث الرائدة إلى الأمام في الوقت الذي يراقبها المجتمع باستمرار ويتلقى فوائدها ويرجعها إلى اكتشافات في حقل العناية بالمرضى.

ويشهد التاريخ على حماية التدخلات الجائرة. فقد كان «T» لايسنكو خارج سرب البيولوجيين عندما أقتع «D» ستالين، خلال أعوام العشرينات من القرن الماضي بأن الداروينية الفاشلة بالانتقاء الطبيعي هي نظرية خاطئة. ونتيجة لذلك، لم يعد للوراثيات الداروينية مكان في روسيا لعدة عقود؛ بينما ازدهرت الزراعة والطب الأمريكيين إلى حد كبير، وبمساعدة المهاجرين من علماء الوراثة الروس بخاسة. أما الطريقة الروسية في ذلك الزمن فكانت تؤمن بأن الإيديولوجية مقدمة على العلم، مما أدى إلى ضياع العلم الصحيح لأجيال كثيرة.

ويلازم شبح الليسنكوية النقاش في أمريكا حول الخلايا الجذعية؛ ذلك أنه لما كان عزل تلك الخلايا من الجنين يضع حدا لإمكانية زرعها في الرحم، فإن الذين يعتقدون أن أي كيان بيولوجي ينشأ بعد الإخصاب هو كيان بشري، يرون العمل على الخلايا الجذعية أمرا أخلاقيا. هذه النظرة تشكل أساس مشاريع القوانين المقدمة من قبل عضو مجلس الشيوخ «D» براونباك «K» كنساس ومن قبل عضو مجلس النواب «D» ولون «J» ممثل فلوريدا [الذين يجزمان هذه الممارسة].

وكجزء من السياسة الحالية للإدارة التي تسع فقط باستعمال خطوط الخلايا الجذعية الموهلة من قبل الحكومة الفدرالية قبل الشهر 2001/8، فإن الرئيس «بوش» جعل المنع يشمل إنتاج الخلايا الجذعية المتعددة الإمكانات pluripotent المشتقة بوساطة النقل النووي الذي يسميه البعض الاستنساخ العلاجي. إن مشاريع القوانين المقدمة من قبل «جولدن» و«براونباك» التي تجرم هذه الممارسات، تجعل هذه الأبحاث مقتصرة على العلم خارج الولايات المتحدة. وهكذا فقد قلصت الإيديولوجية بشكل صارم بناء تقانة لابد منها لتسريع التقدم في مجال البيولوجيا التطورية البشرية، وتفتح أسباب الأمراض البشرية، وتطوير إمكانات مداواتها [إن مشاريع قوانين «ولون» و«براونباك» ليست قوانين، لأن تصالفا بين الحزبين في مجلس الشيوخ حال دون مرورها].

ترى من هو الخاسر من هذا الحظر الفدرالي؟ ليست فقط أبحاث علم الحياة، وليس فقط العلماء الشباب الذين يطمنون قضيا، حياتهم في توسيع حدود المعرفة العلمية والمداواة. ولكن قبل هذا وذاك، الخاسرون هم عشرات الآلاف من المرضى الذين كان من الممكن مساعدتهم. فلهذا أسى على الصعبد الأخلاقي؛ إنقاذ العالم من «الاستنساخ العلاجي»، أم إنقاذ حياة المرضى؟

ولحسن الحظ، وانسجاما مع حقوقها الدستورية، أقرت كاليفورنيا عام 2002 مشاريع قوانين تشجع أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية والاستنساخ العلاجي وتنظفها. وفي الشهر 2004/11 أقرت الولاية بأغلبية 56 ضد 41 صوتا مبادرة ببلغ 6 بلايين دولار، تنقلها على هذه الأبحاث خلال عشر سنوات أو أكثر. لقد أخذت كاليفورنيا على عاتقها مهمة تمويل الأبحاث الأساسية بشكل خاص في هذا المجال ومن ثم، فإن الحدود الزمنية للمداواة في أساسا ما يجب توقعه إذا كانت المعاهد الوطنية للصحة قد أخذت على عاتقها مهمة تمويل هذه الأبحاث.

لنني لا أشاطر الكثيرين رأيهم بأن تمويل العلم من قبل حكومة الولاية عوضا عن الحكومة الفدرالية يمثل مشكلة جدية. وأمل أن يكون هذا التدخل الحالي الدنيي والأبيولوجي في موضوع البحث الفدرالي يشكل زعجا عابرا، بيد أن الدروس المستفادة من تجربة «لايسنكو» تعلمنا أن هذا الوضع ربما يدوم مدة طويلة ■

المؤلف

Irving Weissman

هو أستاذ علم الأمراض والبيولوجيا التطورية في جامعة ستانفورد، ومدير المعهد الجامعي للسرطان وبيولوجية الخلايا الجذعية وطبها. كما أنه المؤسس المشارك للشركتين Cellerant, Inc. و Stem Cells, Inc. وكتاعها في بانو كاليفورنيا.

The Ghost of Lysenko (٤)

لتحويل المعهد قبل حسم الخلاف القانوني.

وحتى قبل فتح صنوبر المال، يستطيع العلماء التقدم بطلباتهم للحصول على منح الأبحاث. ولكن يجب على المعهد أن يشكل مينة خيرا. في موضوع الخلايا الجذعية من خارج كاليفورنيا، تتألف من 15 عضوا مُحكما لتقويم مشروعات الأبحاث والحكم عليها، وهذا أمر لا يستهان به، وكثير من الباحثين في هذا الموضوع يجري تجنيدهم للعمل في كاليفورنيا (انظر الإطار في الصفحة المقابلة).

بما يخلق بينهم حالة من تعارض المصالح، فضلا عن أن قليلا من المؤهلين قد يقبل بذلك.

ويقول «كيلر»: «لقد طلب إليّ المعهد CIRM المشاركة في هيئات تحكم مختلفة».

ولكن «كيلر» لم يوافق حتى الآن. «فنحن نقوم بمراجعات لحساب المعاهد الوطنية للصحة التي تسحب منها اعتمادات مالية

أيضا، وعندما يطلبون إلينا القيام بالعمل نفسه لحساب كاليفورنيا فإنهم لا يسمحون لنا بالأساس بأموالهم... حسنا! إن عدد ساعات النهار محدود».

ومن دواعي السخرية أنه في الوقت الذي يزعم فيه ياحق الولاية بأنهم حققوا نجاحات مالية، فإنهم أعدوا أنفسهم أيضا لاحتمال

نشلهم السياسي. ومن خلال تأكيدهم على اختراقاتهم الطبية (كما فعل «D» نيكسون»

بالنسبة إلى «الحرب ضد السرطان»)، وليس على معالم تقنية مهمة (كما فعل «D» كولنز»

في مشروع الجينوم البشري)، فإن حملة الاقتراح 71 وضعت رهانا ضخما على نتيجة غير مضمونة.

ويقول «D» كيج: «عالم الأعصاب في معهد سالك Salk»: «نظرا لأن العلم يوضع الآن تحت

بجوهه الذاتي، فإننا سنكون عرضة للحساسية إن لم نتوصل إلى اكتشافات مهمة. ومن الواضح أن هناك توقع بأن نحقق للولاية منافع

مالية وعلاجية قبل نهاية هذا العقد».

وفي مجال المخاطرة أيضا، هناك سوابق ذات أهمية على الصعيد الوطني،

ذلك أن مبادرة كاليفورنيا تبدو وكأنها حفزت على دعم قانون تعزيز أبحاث

الخلايا الجذعية the Stem Cell Research Enhancement Act، وهو مشروع قانون ويُد

في الكونغرس الأمريكي في عام 2004، ولكنه بُعث في الشهر 2005/2. وقد وعد

الرعاة الجمهوريون بعرض مشروع

تزايد معاناة صناعة جديدة

الشركة ES Cell International

شركة طموحة في سنغافورا تحقق «موجودية مميزة».

هذه، وتعمل الشركة ESI على نحو وثيق مع ما يقوم به الباحثون في جامعة موناش الأسترالية وجامعة هاداسا الإسرائيلية والجامعة الوطنية في سنغافورا وجامعة أوتريخت الهولندية. وتمتلك الجامعات الثلاث الأولى 18 في المئة من أسهم الشركة. وستكون الشركة ESI صاحبة الحق الوحيدة في العالم لامتلاك أي من براءات الاختراعات التي ستنشأ من أبحاثهم. وتطمح الشركة ESI للحصول على موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكية نحو عام 2010 على منتجات مشتقة من الخلايا الجذعية يمكن بواسطتها مكافحة الداء السكري وأمراض القلب.

ويصرح «كولمان» قائلا: «لنا وجود مميز،» مشيرا إلى الدعم المادي الذي تقدمه حكومة سنغافورا التي تمتلك 4 في المئة من أسهم الشركة ESI. ومع ذلك يتنبأ «كولمان» تلقى يجعله يتسائل فيما إذا كان هذا الدعم سيستمر إلى أن تتمكن الشركة ESI من جني المكاسب التجارية لقاء أبحاثها. ويقول «كولمان»: «ويظهر أن سنغافورا تحول تمويلها للبيولوجيا الطبية في الشركات الجديدة من الأبحاث التطبيقية نحو الأبحاث الأساسية».

ومع أن الشركة ESI جمعت مبلغ 24 مليون دولار في صورة أسهم استثمارية وقروض منذ عام 2000، إلا أن مصروفها السنوي «بحرق» ما مقداره 3.6 مليون، فالأمر بالنسبة إلى هذه الشركة هو سباق مع الزمن.

برزت الشركة (ES Cell International) (ESI اختصارا) ومقرها سنغافورا، كاحد أوائل المشروعات التجارية في العالم التي تركز على تطوير خلايا جذعية لأهداف علاجية. لقد تأسست الشركة ESI عام 2000، وسعت إلى اجتذاب الأبحاث الرائدة لـ «A»، «يونيكسو» وغيره من الباحثين [في جامعة سنغافورا الوطنية] المتعلقة بتنمية خطوط خلايا جذعية من أجنة بشرية. وكجزء من سعي سنغافورا لتصبح مركزا عالميا للبحث الطبي، وافق مجلس التنمية الاقتصادية الحكومي على تمويل الشركة ESI، وذلك بالتعاون مع بعض أغنياء المستثمرين الأستراليين.

وقد حصلت الشركة عام 2001 على دعم عندما صارت الشركة ESI واحدة من بين المجموعات العشر التي اختارتها المعاهد الوطنية للصحة في الولايات المتحدة كشركة لديها خلايا جذعية مؤهلة للحصول على تمويل فدرالي بموجب خطة إدارة «هيش» المتعلقة بالخلايا الجذعية. ولكن خطة المشروع التجاري الأصلي للشركة ESI لإنتاج خطوط خلايا جذعية جنينية بشرية وبيعها، وعدت بتحقيق أرباح في «حدودها الدنيا» فقط بحيث لا تتجاوز 300 000 دولار (160 000 جنيه إسترليني) في السنة، كما قال «كولمان» [الرئيس التنفيذي الجديد للشركة].

لقد اكتسب «كولمان» شهرة كونه رئيسا لفريق البحث الذي استنسخ النسخة دولي Dolly في اسكتلندا، وقد انضم إلى الشركة ESI عام 2002 كغيره لعلما بها، وذلك بهدف تحويل الخلايا الجذعية إلى أنماط خلوية أخرى لداواة مجموعة من الأمراض، ويشمل أحد المشاريع المقترحة بمحاولة جعل الخلايا الجذعية تتمايز إلى «جزء» من الخلايا تنتج أنسولين، يمكن اغتراسها لدى مرضى الداء السكري.

الشركة Geron

إن الشركة التي كانت في السابق عظيمة القوة والنفوذ في مجال براءات الاختراع، تعمل الآن على إنتاج معالجات جديدة.

وما تزال الشركة اليوم تعمل بخسارة - إذ خسرت مبلغ 9.7 مليون دولار (6.2 مليون جنيه إسترليني) خلال الأشهر الثلاثة الأولى من عام 2005؛ ويتبخر الخوف من سيطرتها على سوق الخلايا الجذعية. ومع ذلك، ما تزال الشركة جيريون قوة مهمة في ميدان البحث العلمي، ومن المتوقع أن تكون أحد المستفيدين الرئيسيين من تمويل كاليفورنيا لأبحاث الخلايا الجذعية. عتيدت تأسست الشركة جيريون عام 1992، كانت إحدى الشركات العامة الأولى التي درست الخلايا الجذعية الجنينية. وفي أواخر التسعينات من القرن العشرين، تحول اهتمامها إلى التيلوميراز: مركب تعرفته المجموعة من خلال دراستها للخلايا الجذعية مفتاحا لسيروعة الكبر. ومن المعروف أن مستويات مركب التيلوميراز في الخلية تتدنّى مع تقدم الإنسان بالعمر. ويأمل علماء الشركة جيريون أن يتمكنوا من مكافحة أمراض (كالايدز والسرطان) عن طريق رفع معدلات مركب التيلوميراز في الجسم. وفي الشهر 3/2005، أسست الشركة جيريون الشركة TA Therapeutics، وهو مشروع تجاري أبرمته مع أحد معاهد البحث العلمي في جامعة هونغ كونغ لتحويل تطبيقات مركب التيلوميراز.

كانت الشركة جيريون، وقاعدتها كاليفورنيا، مرهوبة الجانب نظرا لقوتها في حقول البراءات، ولامتلاكها - حصرا - حقوق العديد من الخلايا الجذعية الجنينية، التي تم تطويرها في جامعة وسكوتس، فقد اعتقد الكثير من المثقافات البيولوجية المنافسة أن الشركة قد تقيم احتكارا للخلايا الجذعية. ففي عام 1999، اشترت الشركة جيريون حقوق ثقانة استنساخ الفجعة دولي في اسكتلندا، وهي ثقانة حازت براءة الحماية من قبل الحكومة البريطانية. بعد ذلك بسنة واحدة،

إن الخلاف الذي دار حول امتلاك الشركة جيريون لكثير من براءات الاختراع هذا عام 2002 فقط، عندما توصلت الشركة وجامعة وسكوتس إلى اتفاقية تحد من حقوق الشركة جيريون في تلك البراءات، وتعد بالسماح لعلماء آخرين بالدخول إلى خطوط الخلية الجذعية



سان فرانسيسكو كاليفورنيا

الجدعية الجنينية البشرية من دون مساعدة «الخلايا المغذية» feeder cells. وقد استعملت قطعنا leaders مأخوذة من الفئران، لإنماء المجموعات الأولى من الخلايا الجذعية وإكثارها. ونشرت الشركة جبرون في موقعها على الإنترنت بحثاً عن «طريقة إنماء الخلايا الجذعية الجنينية الأنطف» وذلك في الشهر 2002/9. ولكن كثيراً من الباحثين شك في نجاعة هذه الطريقة إلى أن نشر بحثها في مجلة «سليم سلاز» (الخلايا الجذعية) عام 2005. ■

«كرويفت»

وقد تجدد اهتمام الشركة جبرون باستخدام الخلايا الجذعية الجنينية بذاتها للمعالجة. وتتابع الشركة أبحاثها في عدد كبير من الحقول المرضية، منها داء باركنسون وأمراض القلب والداء السكري والتهاب المفاصل وأمراض الدم وفشلنا العظام وورم الأعصاب. وعلى الرغم من عدم إجراء أي اختبارات على الإنسان حتى الآن، تقول الشركة جبرون إنها في سبيل مباشرة اختبارات سريرية على أنياب النخاع الشوكي. ففي الشهر 2005/3، نشرت الشركة بحثاً تشرح فيه كيفية تنمية الخلايا

Stem Cell Sciences الشركة

كانت في أحد الأيام مجرد «شركة افتراضية» فكبرت خلال عقد من الزمن لتصبح عالمياً أقوى شركة في مجال الخلايا الجذعية.

هذا، ويعمل في الشركة SCS مباشرة أربعون موظفاً، نصفهم في اليابان، والنصف الباقي موزعون بين اسكتلندا وأستراليا. ومنذ تأسيسها، تمكنت الشركة من جمع خمسة ملايين جنيه إسترليني من مستثمرين وخمسة ملايين جنيه إسترليني أخرى عن طريق تعاون بحثي وإجازات لصفقات تجارية مع شركات صيدلانية، منها فايزر Pfizer وكلاكسو سميت كلاين GlaxoSmithKline والفاشس Aventis: على أن التداري بالخلايا الجذعية يكمن في مستقبل أبعد، مع جعل داء باركنسون أحد الأهداف الممكنة.

بينما لا يمتلك «ماونتفورد» إلا الإطار على ما لقيته شركته من اعتراف الجهات العلمية بها وتشجيع الهيئات الحكومية لها (ومن بينها النشأة إنتربرايز الاسكتلندية ووزارة التجارة والصناعة البريطانية)، فهو يشهد المجتمع البريطاني الرأسمالي لإخفاقه في إدراك قيمة الشركة SCS على الأمد البعيد. وسوف تركز الدورة التالية للتمويل على المستثمرين الأمريكيين بهدف إنشاء فرع أمريكي، مع احتمال ظهور الشركة على لائحة «السوق البديلة للاستثمارات في لندن» London's Alternative Investments Market. على أن مكان مركز التنمية الأمريكي لم يقرر حتى الآن. ويقول «ماونتفورد» إن الهدف البعيد هو وضعه على لائحة نازدك في مدينة نيويورك، مع أنه يريد إبقاء المركز الرئيسي للشركة في اسكتلندا. ■

«كوكسون»

لا بد أن تكون شركة ستم سل ساينسز (علوم الخلايا الجذعية) (SCS)، أكثر الشركات انتشاراً في العالم في مجال الخلايا الجذعية. فلدى هذه الشركة مراكز أبحاث وتنمية في المملكة المتحدة واليابان وأستراليا، وتخطط هذا العام (2005) لتأسيس أعمال لها في الولايات المتحدة. وتعتمد خطة أعمالها الجبرية على أساس الاتجار بالخلايا الجذعية الجنينية البشرية، أولاً بقصد بيع منتجاتها كادوات لأبحاث الصناعة الصيدلانية، ومن ثم لتطوير معالجات معتددة على أسس خلوية.

لقد أسس B. «ماونتفورد» الشركة SCS في وطنه أستراليا «كشركة افتراضية» عام 1994، وذلك بعد عودته بمدة قصيرة من فترة عمل منتج في اسكتلندا مع A. «سميث» رائد الخلايا الجذعية في أثيره. وفي عام 2000، أصبح مشروعه شركة حقيقية في ميلبورن، لديها موظفون وباحثون. وفي السنة التالية أسس «ماونتفورد» فرعاً يابانياً هو SCS KK في كوبي Kobe، تعاون مع باحثي الخلايا الجذعية في مركز ريكن Riken للتكنولوجيا التطورية.

وفي عام 2003، عاد «ماونتفورد» إلى اسكتلندا، وقام بتأسيس المركز الرئيسي للشركة SCS في أثيره: أما AA «دكستر» [وهو بيولوجي في مجال الخلايا الجذعية] والذي أنهى للتو خمس سنوات مديراً لمؤسسة ويلكوم ترست Wellcome Trust، فقد أصبح رئيساً للشركة SCS. وقد اجتذبت اسكتلندا «ماونتفورد» بعد أن برزت كمركز متميز لأبحاث الخلايا الجذعية وأكثر من ذلك كله اجتذبه إمكان العمل مرة أخرى مع «سميث»، الذي كان يدير حينئذ معهد أبحاث الخلايا الجذعية في جامعة أثيره

علمياً - فقد يصبح نموذجاً جديداً لتمويل تلك الأنواع من الأبحاث التي تغيظ الأكثرية في بعض أنحاء أمريكا، ولكنها تسحر أكثر الناس في مناطق أخرى من العالم. وربما لا يكون هذا هو الطريق الأكثر كفاية للعمل العلمي، ولكنه قد يثبت أنه الأكثر نفعاً. ■

«W. H. كيبس»

لتنافس المبادرات الخاصة وتلك التابعة للولاية على قدم المساواة. وربما يصبح القانون أيضاً بمثابة هبة للمعهد CIRM، لأنه سيسمح للوكالة بإتفاق أقل على البناء والمعدات، وبإتفاق أكثر على العلم نفسه. وفي النهاية، إذا ما نجح رهان كاليفورنيا - سواء سياسياً أو اقتصادياً أو

القانون للتصويت في صيف عام 2005، فإذا ما تمت الموافقة عليه ونجا من رفض رئاسي منتظر، فإن هذا القانون سيلغي القيود التي فرضت في الشهر 2001/8 والخاصة بالاعتمادات المالية الفدرالية المخصصة لأبحاث الخلايا الجذعية، وسيعطى الحرية للمعاهد الوطنية للصحة

الشركة Advanced Cell Technology Holdings

تستمر هذه الشركة البالغة الصغر التي استثمرت معركة سياسية حول الاستنساخ العلاجي البشري، تستمر في تسجيل حضور يفوق وزنها.

تكاليف باهظة لإصدار أوراق مالية من البداية.

لقد أصبح للمجموعة رئيس تنفيذي جديد هو W. كالويل «W. كالويل»، أما الرئيس السابق «M. ويست» - الذي أسس الشركة جيرون في عام 1998 ثم غادرها - فقد أصبح رئيساً لمجلس إدارة الشركة ACTH، وعندما تم الاندماج، تلقت الشركة فيضا من الأموال التي كانت بحاجة ماسة إليها: 8 ملايين دولار من رأسمالين مضارين ومستثمرين مستقلين. وتأمل الشركة أن يساعدوا وضعها الجديد على جمع مبالغ أكبر من المال.

وبيما تقول الشركة ACTH إنها ستبقى في ماساتشوستس، فإنها تخطط لإقامة فرع لإجراء الأبحاث في كاليفورنيا بغية الاستفادة من البرنامج الذي تمت للتو الموافقة عليه لتمويل أبحاث الخلايا الجذعية بثلاثة بلايين دولار.

لقد تأسست الشركة ACTH عام 1994 بهدف استنساخ موش وبجوانات محورة جينيا تصنع أدوية بشرية في لبنها. ومع أن الشركة لا تزال تعمل على استنساخ الحيوانات، فقد تحول التركيز تحت قيادة «ويست» إلى أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية البشرية. وتقول الشركة إنها لن تتابع الاستنساخ بغرض التوالد، وإن اهتمامها سيتنصب على استعمال التقنيات من أجل الطب التجديدي regenerative medicine فقط.



وُيسْتِر (ماساتشوستس)

<17> كريفث>

لطالما حظيت الشركة (ACTH) Advanced Cell Technology Holdings⁽¹⁾ انتباه يفوق حجمها. إن هذه الشركة البالغة الصغر التي تعمل في مجال الثقة الحيوية توظف 24 موظفا فقط، محشورين في مكاتب ضيقة في ووستر بولاية ماساتشوستس.

واكتسبت هذه المجموعة سمعة سيئة لعملها المتعلق بالاستنساخ العلاجي البشري. ففي عام 2001 أعلنت الشركة ACTH، كما كانت تسمى وقتذاك، عن استنساخها لجين بشري عاش مدة قصيرة، مستثيرة معركة سياسية في الكونغرس حول هذا النوع من الممارسة. وفي الشهر 3 أعلنت المجلة العلمية البريطانية «الانت» أن الشركة استنبطت خلايا جذعية جنينية بشرية من دون استعمال خلايا «مطعمية» feeder cells، في الوقت نفسه تقريبا الذي نشرت فيه الشركة جيرون المنافسة لها ميحا ماثلا. إن هذا الاختراق مهم، لأن تعريض الخلايا الجذعية لخلايا ملعنة قارية أو بشرية يلوثها وقد يجعلها غير ملائمة للعلاوة الطبية.

وعلى الرغم من الجدل والإثارة المحيطين بعملها العلمي، فإن الشركة ACTH كانت تعمل باستمرار براس مال ضئيل. وقد اشكت هيئتها التنفيذية علنا من ضيق ذات اليد، قائلة إنها غالبا ما تجد صعوبة في دفع رواتب موظفيها القلائل.

ولكن باسم وبنية إدارية جديدين، ويخطط حديثا للتوسع نحو كاليفورنيا، تتطلع المجموعة لحياة مشتركة متجددة. ففي الشهر 2/2005، أعلنت الشركة عن «اندماجها المعكوس» تحت غطاء مجموعة تجارية علني. هي الشركة Two Moons Kachinas، التي تأسست عام 2000 في يوتا لبيع دمي تمثل الأمريكيين الأصليين. وقد نسي الناس الدمي التي كان يجمعها الهواة، ولكن الصفقة مكنت الشركة ACTH من تحاشي

قادة الشركات العاملة في مجال الخلايا الجذعية



يحاول «A. كولمان» [الرئيس التنفيذي للشركة ESI] تحريض الخلايا الجذعية كي تنتج «جزءاً» من الخلايا المؤكدة للأنسولين. ويعرف «كولمان» بأنه أكاديمي ضليع بمهنته التي تتضمن البحث العلمي إضافة إلى مهام تدريسية في جامعتي أكسفورد واريك، كما أنه يشغل منصب أستاذ الكيمياء الحيوية في جامعة برمنغهام.

إي إس إنترناشيونال (ES)
www.escellinternational.com



يخطط «T. أوكاراما» [الرئيس التنفيذي للشركة جيرون] لقيادة شركته في القريب العاجل في إجراء تجارب سريرية على الخلايا الجذعية لمعالجة حالات إصابات النخاع الشوكي. حصل «أوكاراما» على الدكتوراه في الطب والدكتوراه في الفلسفة من جامعة ستانفورد.

جيرون
www.geron.com



حول «M. ويست» [رئيس مجلس الإدارة] تركيز الشركة نحو أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية. حصل «ويست» على درجة الماجستير في البيولوجيا من جامعة أندروز عام 1982، وعلى الدكتوراه من كلية طب جامعة بايلور عام 1989. وقد تنازل «ويست» مؤخرا عن منصب الرئاسة التنفيذية إلى «M.W. كالويل».

ACT هولدينجز
www.advancedcell.com



يرعى «P. ماونثورف» خطة تجارية لتسويق الخلايا الجذعية الجنينية، أولا كأداة للبحث العلمي، وبعدها كطريقة للمداوة أساسها هذه الخلايا. حصل «ماونثورف» على الدكتوراه من جامعة ميلبورن، وكان زميل Endeavor الجمعية الملكية (لندن) في جامعة أدنبره، وهو مخترع لتقانات تم تبيتها على نطاق واسع في أبحاث الخلايا الجذعية.

ستيم سل ساينسز
www.stemcellsciencesltd.com

(التحرير) ACT Holdings (+): شركة تهتم بتطبيق تقنيات الخلايا الجذعية.

خلية عصية على المستثمرين^(١)

إن المضاربين VC's يدركون تماما الإمكانيات الكبيرة للخلايا الجذعية، ومع ذلك فإن أسبابا كثيرة تجعلهم يترددون في الاستثمار في هذا المجال.

اسكتلندا في هذا المجال، فإن الشركة SEP لم تبدأ بعد بتمويل أي من شركات الخلايا الجذعية. ويعترض «كير» بأن الأمر لا يتعلق فقط بأن العلم لا يزال في مراحله التمهيدية، بل إن خطط المشروعات التجارية بحسب ذاتها تشتمل على مخاطر كبيرة.

«تتطلب الأعمال التجارية مزيدا من الحنكة في كيفية التحكم في المخاطر»، كما يقول «كير». فالخلايا الجذعية لم تتطور بعد لتصبح برنامجا. وكثير من الشركات يركز على دواء واحد لمرض معين. «إنك لا تدعم شركة عملية تقليدية، تمتلك منتجا واحدا فقط»، كما يقول «كير».

وإضافة إلى ذلك، يعتقد «كير» بأن عائقا إضافيا برز في أوروبا، حيث تعطل محرك التمويل، فبعد الازدهار والإخفاق اللذين حققتهما الجينوميات، استمرت الأسواق العامة في تجنب التلقانات الحيوية، وأجبرت المضاربين VC's على تمويل الشركات لمدد أطول. ويقول «كير»: «من المستحيل تقريبا أن تربح في أوروبا من الجولة الاستثمارية الأولى في أي نوع من أنواع التلقانة الحيوية».

ويختلف الوضع في أوروبا عن أستراليا، حيث إن عددا من شركات الخلايا الجذعية أصبحت تظهر على قائمة سوق الأسهم المالية. ولكن «A. كوتس» -مدير بنك الاستثمار eG Capital في سيدني- يقول إن هذا الاتجاه يميل إلى أن يكون مرحلة مبكرة. ويضيف قائلا: «أعتقد أن أستراليا فريدة في هذا المضمار. فبينما تكثر الانتقادات الموجهة إلى سوق الأسهم الأسترالية، الذي يدع الشركات تظهر على قائمته في وقت «أبكر مما يجب» - وفي مناسبات كثيرة، حيث لم يسبقها أي تجارب سريرية على أي منتج - فلقد كانت هذه هي الآلية الأولى لتمويل كثير من العلوم المهمة التي تنتجها هنا والتي أخذت باجتذاب شركات عالمية».

فقد تحظى الشركات الناشئة في مجال الخلايا الجذعية بأذنان صاغية من قبل الشركة Bio* One Capital، الذراع الاستثمارية لمجلس

Thought Cell to Investors (١)

شركة يقتصر اهتمامها على المرحلة السريرية للتلقانة الحيوية، التي تمكنها من تطبيق الخلايا البشرية كدواء. وهي تقوم بأبحاث خلايا دم الحبل السري، ولا تزال في المرحلة الأولى من تجاربها السريرية. وقد أشاعت بأن دراستها ما قبل السريرية دلت على أن الخلايا الجذعية لدم الحبل السري تحسن أداء العضلة القلبية. (التحرير)

D. بولارد-نايت» رئيس شركة مشروعات نومورا - المرحلة الرابعة 4 Nomura Phase Ventures، وهي الذراع الاستثمارية لبنك نومورا إنترناشيونال plc، الذي كان أحد الداعمين الرئيسيين لرأس المال المخاطر في الشركة ViaCell. ويضيف: «ما عليك إلا أن تنظر إلى الأعداد. لقد استثمر المضاربون (VC's) 300 مليون دولار حتى الآن في شركات الخلايا الجذعية ككل، مقابل 20 بليوناً في برامج التلقانات الأخرى».

فمن نواح عديدة، يعود ذلك إلى الطبيعة التمهيدية للعلم. ويقول S.G. بوريل» [الرئيس التنفيذي لبوريل وشركاه في سان فرانسيسكو (بنك تجاري يخصص بعلوم الحياة)] إن تمويل المضاربين VC's لشركة للخلايا الجذعية يعني حاليا أنه تمويل لأبحاث أساسية تقوم بها عادة مختبرات أكاديمية. ويضيف قائلا: «لقد بدأنا نرى بعض خطط مشروعات تجارية لشركات الخلايا الجذعية، ولكننا ما زلنا في نهايتها العلمية».

إن هذا النقص في الأبحاث الأساسية يخلق مخاطر أساسية، لأنه لا يتضح حتى الآن إلى أين يمكن أن تعود الملكية الفكرية. يقول P. ماكويين» [رئيس المشروعات التجارية المخاطرة في BTG plc بلندن]: «في النموذج المعاصر، عندما تجري مسحا للبحث عن مستقبل ما، وتعثّر على ما تبحث عنه، فإن ذلك يعد ملكية فكرية مبتكرة. ولكن عندما تخرض الخلايا الجذعية على التمايز، فلا يمكنك التنبؤ بهوية صاحب الملكية الفكرية التي قد تصادفه». يطالع B. كير» -مدير الشركة Scottish Equity Partners (SEP) في غلاسكو- على جميع الفرص المتاحة في علوم الحياة والموجودة في اسكتلندا، ويتفحص مئات المشاريع التجارية كل سنة. وعلى الرغم من السمعة العلمية المتميزة التي تتمتع بها

ليست أبحاث الخلايا الجذعية المجال الأكثر تسييسا في تاريخ العلم فقط، ولكنها أيضا من أكثرها تعقيدا وتبنيطا للهمم. فمع أن الخلايا الجذعية الإمكانيات لتوفير العلاج لعدد كبير من الأمراض، فقد ثبت أن من الصعوبة بكان اجتذاب الاستثمارات اللازمة لتطويرها. فكثير من المضاربين (VC's) Venture Capitalists يقرنونها بالأضداد الوحيدة النسيلة، التي استغرقت ترجمتها من أبحاث أساسية إلى منتجات تسويقية عشرين عاما. وكما لاحظ D. كيبيل» [الشريك في الشركة SV لعلوم الحياة في سان فرانسيسكو] قائلا «مع أن الأمل بنجاح الأضداد الوحيدة النسيلة كان واضحا، فإن المضاربين الذين استثمروا في مرحلة مبكرة من هذه الأبحاث، خسروا جميع ما يملكون».

هذا لا يعني أن شركات الخلايا الجذعية عديمة الجاذبية كليا. ففي أول طرح للاكتتاب في أسهم شركة للتلقانة الحيوية عام 2005، جمعت الشركة Via Cell, Inc. المختصة بخلايا الحبل السري الجذعية 52.5 مليون دولار.

وفي الوقت الذي تم فيه تداول أسهم الشركة في البورصة، كانت إيراداتها السنوية قد حققت 36.8 مليون دولار، جأتها من ريع حفظ دم الحبل السري في بنك الدم، إضافة إلى ريع خلايا الحبل السري الجذعية في العيادات، واحتمال تاسيسها شراكات مع الغير. ولكن هناك قليلا من القرض المشابهة، حيث يظل تدفق الإيرادات القوي من المخاطر الكامنة في علم الخلايا الجذعية.

«تعد الشركة فيا سل (VC) مثالا على كيفية شعور كثير من المضاربين (VC's) بمخاطر الاستثمارات في الخلايا الجذعية»، هذا ما قاله

لقد بدأنا نرى بعض الخطط لأعمال تجارية لشركات الخلايا الجذعية، لكننا ما زلنا في المرحلة العلمية من تلك الخطط.



«وما عليك إلا أن تنظر إلى الأرقام. لقد استثمر المضاربون VCs نحو 300 مليون دولار حتى الآن في أبحاث الخلايا الجذعية مقابل استثمارهم عشرين بلينا في المجالات التقنية الأخرى»

(D. بولارد، نائب)

بالمواد الطبية ما يحيط بها من غموض نظرا لتعدد إيجاد نظام موافقة موحد لبيع علاجات الخلايا الجذعية في جميع أرجاء الولايات المتحدة، أو فيما إذا كانت الولايات التي حظرت أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية، ستحظر أيضا بيع المنتجات المشتقة منها.

وليست الحال في أوروبا بأفضل من ذلك، إذ يسود هناك خليط من الأنظمة المختلفة، التي يعمل معظمها ضد أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية.

وتقول <C. بريسكوت> [المديرة العلمية للمؤسسة ABV] في كمبودج/ المملكة المتحدة:

«إن أهم ما في القضية الآن هي الناحية التنظيمية، ففي أوروبا تطبق القوانين الوطنية، أما في الولايات المتحدة فلكل ولاية موقف يختلف عن الأخرى. ولذا، فهناك سوق مجزأة، إن أكثرية شركات التقانة الحيوية تعتمد على إبرام اتفاقات مع الشركات الصيدلانية الكبرى، وذلك لتجلب منتجاتها تمر من المرحلة الأخيرة للاختبارات السريرية، ومنها إلى السوق.

وتقول <بريسكوت>: «إن السوق المجزأة تجعل الخلايا الجذعية طرازاً صعباً جداً للعلية التجارية، وذلك فيما يتعلق بالصناعة الصيدلانية الكبرى، فإن لم تستطع التقانة الحيوية الحصول على شركاء، فكيف تعمل كي تنهض».

ومما لاشك فيه أن المضاربين VCs يتخوفون من الناحية الأخلاقية وما يتبعها من الأنظمة المحيطة بالخلايا الجذعية، إن الكثير من الشركات الكبرى في أمريكا الشمالية وأوروبا لم ترغب بإجراء مقابلات لكتابة هذه المقالة، في حين كان بعضها الآخر على استعداد لمناقشة التحدي العلمي في مجال الخلايا الجذعية. ولكن ليس كل ما يتعلق بهذا الموضوع.

هذا، وسيفير <الاقترح 71> الموافق، كما يعتقد <بوريل> [من شركة بوريل]. ويضيف قائلا: «إن علم الخلايا الجذعية في الوقت الحاضر ملطخ بشوائب عديدة، وسيضفي <الاقترح 71> التشريعية على كثير من الأبحاث في الولايات المتحدة، تلك الأبحاث التي تبدو غير قابلة للاستثمار في ظل التوجيهات الفدرالية الحالية.

<N. موران>

مراسلة المجلة Bio World في بريطانيا

(١) شركة تصنع منظومات وأجهزة تساعد على مراقبة الجودة في الصناعة الدوائية، كما تهتم بوضع قواعد لوسائل الأمان.

Avlar Bio Ventures (٢)

من جراء حدوث مشكلات وراثية سببها عدم استقرار خطوطها الجذعية العصبية الجنينية. وفي عام 2003 أخرجت شركات ميرلين Merlin Consortium أعضائها المستثمرين من وضعهم المالي المزري بتوظيفها مبلغ 3.6 مليون جنيه إسترليني، كي تعود الشركة RN شركة خاصة مرة أخرى.

ومنذ ذلك الوقت تغلبت الشركة على مشكلات الخطوط الخلوية، وهي تسعى من أجل الحصول على اعتراف قانوني (إما في الولايات المتحدة أو بريطانيا)، لكي تقوم باختيار سريري. هذا وصرح <إيفانس> قائلا: «كان علينا أن ننفق على أعمال تتم عادة في المختبرات الأكاديمية. ولكن إذا عادت الشركة RN إلينا اليوم لدعائها مرة أخرى».

هذا ما أهله لإنشاء المؤسسة S.C.F. (مؤسسة الخلايا الجذعية) وهي مؤسسة خيرية صُممت لسد الفجوة بين البحث الأكاديمي ومنتصف مرحلة الاختبارات السريرية. وكما قال <إيفانس>: «فخلال ثلاث سنوات، يجب أن يصبح لدينا من 10 إلى 15 مشروعا سريريا أو قريبا من ذلك. وقياسا على معدل الجهد العادي، سينجم عن ذلك نجاحان أو ثلاثة، وعندها سنحظى «باستثمارات خاصة» وستتدفق الأموال إلينا». وأضاف: «إن المؤسسة تشكل حافزا يدفعنا لتكوين ظاهرة نادرة في موضوع الخلايا الجذعية».

ويتطلع <إيفانس> لإطلاق المؤسسة والنهوض بها قبيل بداية تدفق الأموال من اقتراح كاليفورنيا 71 وغيره من مشاريع الخلايا الجذعية الأمريكية التي تمولها الولايات المتحدة، الأمر الذي سيؤدي سريعا إلى هجرة الباحثين في الخلايا الجذعية من بريطانيا إلى الولايات المتحدة.

وحقيقة أن كاليفورنيا تخصص، مثل غيرها من الولايات، ميزانيات لأبحاث الخلايا الجذعية، تلقي الضوء على عقبة أخرى في طريق التسويق التجاري. ومن الأشياء الاستثنائية فيما يتعلق

سنغافورا للتنمية الاقتصادية SEDB، حيث يقول رئيسه التنفيذي <Y.S> تشو: «إن إمكانات أبحاث الخلايا الجذعية ضخمة جدا، بحيث لا تسمح لنا بتجاهلها. ولقد أدركنا أننا بحاجة إلى اتباع مقاربة الأمد الطويل في هذا الحقل». على أن الشركة بيو ون كاييتال تقلل من المخاطر المتوقعة بالاستثمار في شركات في مراحل مختلفة من تطورها، وبمشروعات بحثية متباينة، ويطرز متنوعة من الأعمال التجارية.

إن توقعات الجمهور بمقدرة الخلايا الجذعية على توفير الشفاء من الأمراض التنكسية degenerative diseases والرضوح trauma الوخيمة، فاقت كثيرا ما يستطيع العلم إنجازها، وذلك بسبب الدعاية التي حظيت بها اختبارات استخدمت فيها الخلايا الجذعية البالغة على نطاق محدود.

وعلى الرغم من وضوح فعالية هذه الخلايا البالغة فإنها لا تجذب المستثمرين. «إن أكثر الناس يتكلمون عن اغتراس الأعضاء الذاتي، مستعملين خلايا أخذت من المرضى ذاتهم. ولكن من وجهة نظر الاستثمار لا مجال لأخذها بعين الاعتبار. ومن الصعب أيضا على إدارة الغذاء والدواء الأمريكية أن تضبطها، ففي كل مرة تختلف الخلايا عن سابقتها».

فبينما لا يزال أماننا الكثير من بذل الجهد، فإن للخلايا الجذعية الجنينية الإمكانيات لأن تنتج وفقا لمعايير مؤسسة كود مانيوفاكشتريك براكتس^(١) Good Manufacturing Practice.

إن أحد المضاربين VCs الذي يمتلك خبرة عميقة فيما يتعلق بصعوبات إنتاج خطوط خلوية جذعية يمكن أن تصبح تجارية، هو السير <C. إيفانس> [مؤسس ورئيس الشركة Merlin Biosciences (ميرلين للعلوم الحيوية) في لندن]. لقد رصدت الشركة ميرلين 250 000 جنيه إسترليني (460 ألف دولار) كإسماح أولي في الشركة (RN)، ReNeuron Ltd. وذلك عند تأسيسها عام 1997، ثم اتبعتها بخمسة ملايين جنيه إسترليني بعد سنة. وقد تم إشهار الشركة في الشهر 2000/11، وجمعت 19.5 مليون جنيه إسترليني، وأصبحت الشركة الأوروبية الوحيدة التي يعتد بها فيما يتعلق بالخلايا الجذعية. ولكن الشركة RN اضطربت

«تتطلب الأعمال التجارية مزيدا من الحنكة كي تتمكن من التحكم في الأخطار، إذ إنك لا تدعم في هذه الحالة شركة علمية تقليدية لا تمتلك سوى منتج واحد»

<B. كير>



البحث عن خلايا شاقية^(١)

يطالب <I>. ويلموت> (مستنسخ النعجة دولي) بتجاوز ما هو
مثير للجدل وبالتركيز على ما هو مفيد في نهاية المطاف.

وثمة حاجة ملحة إلى إجراء نقاش واع حول ما نعتبره صفات بشرية حاسمة، كما جرى نقاش مشابه بالنسبة إلى نهاية الحياة، عندما اتخذ أول قرار يأخذ أعضاء من ضحايا الحوادث الذين أصيبوا بالموت الدماغى وبقيت لديهم أعضاء حية. إن إمكانية الحصول على فوائد من الخلايا الجذعية يجب أن تبعث التفاؤل الذي يحد منه اعتراقنا الصريح بأنه مازال علينا أن نتعلم الكثير الكثير عن الخلايا الجذعية الجنينية. ولكن مما يؤسف له أن الوقت اللازم لتطوير المعالجات السريرية سيكون أطول مما يقبله عادة أصحاب المشاريع الاستثمارية، ويبدو من المرجح أن تكون هناك حاجة إلى إقامة شراكة بين مصادر التمويل الحكومي ورأس المال الخاص.

إن جميع الذين يعرفون أو يهتمون بشخص مصاب بمرض وراثي أو تنكسي، يدركون بصورة جيدة، الحاجة الملحة إلى علاج جديد. ويجب أن يستثبنا وجود تلك الفرصة عوضا عن أن نخيفنا. ■

The Search for Cells That Heal (١)

(١) amyotrophic lateral sclerosis مرض عصبي يصيب العصبونات الحركية للأطراف العلوية والسفلية بين سن 40 و 70، ويحدث تنكسا في الدماغ والحبل الشوكي. ومن أعراضه المبكرة ضعف بدون ألم في اليد والقدم والساعد والساق، وصعوبة في البلع والمشي. (التحرير)

المؤلف

Ian Wilmut

أستاذ علم التوالد في جامعة أدنبرا باسكتلندا، وعالم زائر في معهد روزلين.

لقد توافرت فرص نادرة لدراسة الأمراض البشرية ومعالجتها عن طريق القدرات المكتسبة لاشتقاق خلايا جذعية من الأجنة البشرية. وبالنظر إلى أن هذه الخلايا تكون جميع النسيج التي تشكل الإنسان البالغ، فإنها توفر فرصة لدراسة التنامي السوي للإنسان في المختبر، ولتعريف الشذوذات المرافقة للأمراض الوراثية، وربما (عاجلا أم آجلا) لمعالجة الأمراض التي لا يوجد لكثير منها حاليا علاج فعال.

لنعتبر ثلاث حالات فقط من بين كثير منها: خلايا مشتقة من خلايا الجنين يمكن استعمالها لإصلاح أذيات النخاع الشوكي. وليس من الواضح بدقة نمط الخلايا التي يجب استعمالها ولا عدد الخلايا اللازمة ولا المكان الذي يجب وضعها فيه. ومع ذلك، فإن المعالجة السريعة قد تؤمن فائدة حقيقية.

وستوضح الخلايا المأخوذة من جنين مستنسخ الألية الجزيئية التي تسبب الأمراض الوراثية، مثل التصلب الجانبي الضموري^(١) (المعروف في بعض البلدان بمرض العصبون الحركي)، مما قد يسمح لنا للمرة الأولى بدراسة سيرورة هذه الأمراض في أدق تفاصيلها. وإهم من ذلك مسح آلاف المركبات، التي قد تقضي إلى إيقاف التنكس أو حتى عكسه.

وفي النهاية، قد يصبح بالإمكان تصحيح الأمراض الوراثية لدى الأطفال. فلو أن طفلا يفتقر إلى الاستجابة المناعية للعدوى (للخمج)، نظرا لوجود خطأ في إحدى جيناته النوعية، عندئذ يمكن تصحيح الخطأ في خلايا مشتقة من جنين مستنسخ، ويمكن لها أن تتحول عندئذ إلى خلايا نقي العظم، التي تؤمن حينئذ الاستجابة المناعية الغائبة. ويمكن عندئذ إعادة خلايا النقي المسححة إلى الطفل.

من الواضح أن نجاح المعالجة بالخلايا الجذعية الجنينية سيتوقف على الأبحاث المفصلة، التي قد تستغرق عدة سنوات، وربما عقودا كثيرة، حتى يتم نقل هذه الأفكار إلى الممارسة في العيادة السريرية. ومع مرور الزمن، فإن الخلايا الجذعية المشتقة من جنين ستحدث ثورة في كثير من المجالات الطبية، ومع ذلك فإن المجتمع مازال يتردد.

وفي النقاش الدائر حول البحث في الخلايا الجذعية، يواجه الباحثون الكثير من المواضيع الحرجة. فبعض الناس يرون أن فكرة إنتاج الجنين البشري واستعماله هي فكرة غاية في العذائية، ومع هذا يجب الاعتراف بوجهة نظرهم المخلصة هذه. ومع ذلك،

فإن قسما كبيرا من الناس لا يشاركون في هذا الارتياح. فالجنين المبكر الذي اشتقت منه الخلايا الجذعية هو كرة من الخلايا، يقل حجمها عن حبة رمل. ومع أن لهذه الكرة إمكانية أن تصبح شخصا، لكن تنقصه الصفات البشرية الأساسية ليكون مدركا وواعيا.

